Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

Geração de lixiviados de aterros sanitários na
Região Metropolitana de São Paulo: histórico e
perspectivas

Sulamita de Souza Silva Cavalcante

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Saúde Pública para obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Saúde
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da
Silva Paganini

Versão corrigida

São Paulo

2014

Geração de lixiviados de aterros sanitários na Região Metropolitana de São Paulo: histórico e perspectivas

Sulamita de Souza Silva Cavalcante

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Saúde Pública para obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Saúde
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da
Silva Paganini

São Paulo

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser minha força e capacidade em todos os momentos.

Ao meu orientador, prof. Dr. Wanderley Paganini pelos ensinamentos, direcionamentos e correções ao longo da pesquisa, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, por estar sempre presente e pela paciência oferecida.

À querida Dra. Miriam Bocchiglieri pelas conversas esclarecedoras, pela disposição em ajudar-me em vários momentos e aspectos da pesquisa. Você foi muito importante para a realização desse trabalho.

Ao colega Dr. Cristiano Iwai pelo auxílio na obtenção de informações necessárias para essa pesquisa, pelas conversas, correções e pela sua boa vontade.

Aos meus pais André (*in memoriam*) e Mavilde pela instrução, amor, incentivo em todos os aspectos, por sempre me apoiarem e acreditarem no meu potencial; à minha irmã Palloma pelo carinho e apoio emocional.

Agradeço ao meu marido Rodrigo pelo suporte, encorajamento, compreensão e auxílio, fundamentais para mim no desenvolvimento dessa dissertação.

Ao Flávio da Sabesp pela atenção, disponibilidade e acesso aos dados dos volumes dos lixiviados e informações concedidas.

Aos colegas do grupo de orientação coletiva da Faculdade de Saúde Pública, Ana Carla Coleone, Ana Paula S. Campos, Odimara Faya, Paulo Penalva, Cristiane Pocas, Thiago Leite, Gabriela Rodrigues, Cahuê Carolino, Claudia G. Quevedo, Denise Rosa, Maria Júlia, Camila Guedes, Carlos Roberto dos Santos, Cristiano Kenji Iwai, Patrícia Mendes, Miriam

Bocchiglieri e Marilda Soares pela colaboração e pelas contribuições nas reuniões do grupo.

Aos professores da Faculdade de Saúde Pública que participaram de minha formação e que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Aos funcionários da Faculdade de Saúde Pública pela prontidão, profissionalismo e simpatia.

Aos funcionários da Sabesp e da CETESB pela atenção e pelo fornecimento de informações necessárias para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido.

RESUMO

O tratamento e a disposição final de resíduos sólidos urbanos é um dos grandes problemas ambientais da atualidade. No caso dos aterros sanitários, as áreas para implantação desses empreendimentos são cada vez mais escassas, especialmente nos grandes centros urbanos, exatamente onde há grande geração de resíduos. É notória a necessidade de se buscar alternativas adequadas para a disposição final de resíduos sólidos urbanos. A correta disposição de resíduos em aterros sanitários exige que esses empreendimentos sejam tratados de forma integral, desde a escolha do local, o desenvolvimento do projeto e a execução da obra até o gerenciamento da operação e ações correlatas de monitoramento ambiental. O objetivo dessas ações é minimizar os potenciais impactos ao meio ambiente, dos quais o de maior gravidade é a contaminação do solo e das águas pelos lixiviados gerados nos aterros. Os lixiviados de aterros sanitários são produzidos durante toda sua vida útil e após seu encerramento, devendo ser coletados, tratados e monitorados por várias décadas. Atualmente, não se sabe de maneira precisa qual é o volume e por quanto tempo ocorre a geração de lixiviados na maioria dos aterros sanitários no Brasil. Para esse trabalho realizou-se o levantamento dos aterros sanitários em operação e encerrados no período de 1998 a 2012 na Região Metropolitana de São Paulo, bem como da geração de lixiviados durante o mesmo período. A partir dessas informações traçou-se a série histórica referente a esse período, a partir da qual se pode inferir a grandeza da problemática para os próximos anos. Também são abordadas as necessidades futuras do sistema de tratamento de lixiviados.

Palavras-chave: lixiviado, aterro sanitário, aterro sanitário encerrado, resíduo sólido urbano, Região Metropolitana de São Paulo.

ABSTRACT

The treatment and final disposal of urban solid wastes is one of the great environmental problems of present. In the case of sanitary landfills, the areas for settlement of such projects are increasingly scarce, especially in great urban areas, exactly where there is great waste production. It is notable the necessity of searching adequate alternatives for the final disposal of solid wastes. The correct disposal of solid wastes in sanitary landfills requires that these projects be treated in an integral approach, since the choice of the site, the project development, and the execution of the construction, to the operation management and correlated environmental monitoring actions. The intent of such actions is to minimize potential risks to the environment, being one of the most serious the soil and water contamination by the leachate generated in landfills. Landfill leachate is produced during the operation and after closure of landfills. They must be collected, treated and monitored for several decades. Currently, in most of landfills in Brazil, there is no accurate information about the volume of generated leachate and for how long it is produced. For this dissertation it has been held a survey of operating and closed landfills from 1998 to 2012 in the metropolitan area of São Paulo, as well as the leachate generated. Using these data, a historical series of this period has been traced, from which one can infer the magnitude of the problem for the next years. This study also addresses future need of the leachate treatment system.

Keywords: leachate, sanitary landfill, closed sanitary landfill, solid waste, São Paulo metropolitan area.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SAÚDE PÚBLICA	22
3.2 LEGISLAÇÃO E PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	26
3.3 PLANOS ESTADUAIS E MUNICIPAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	28
3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO ...	30
3.5 RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	33
3.6 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	37
3.6.1 Lixões.....	38
3.6.2 Aterros controlados	39
3.6.3 Aterros sanitários	40
3.7 OS ATERROS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	43
3.8 PROCESSO DE ENCERRAMENTO DOS ATERROS SANITÁRIOS	46
3.8.1 Encerramento dos Aterros Sanitários na União Europeia.....	51
3.8.2 Monitoramentos Ambiental e Geotécnico	53
3.9 LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS - DEFINIÇÃO E GERAÇÃO	56
3.9.1 Fatores que Influenciam a Geração dos Lixiviados	57
3.9.2 Riscos relacionados aos Lixiviados	60
3.10 A ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE LIXIVIADOS	62
3.10.1 Método para Estimar a Geração de Lixiviados - Balanço Hídrico	65
3.11 FORMAS DE TRATAMENTO DOS LIXIVIADOS	68
3.11.1 Tratamentos biológicos	69
3.11.2 Recirculação dos Lixiviados	74
3.11.3 Tratamento Consorciado com Esgotos Sanitários	75
3.11.4 Tratamentos Físico-químicos	77
3.11.5 Processos de Separação Com Membranas	82

4 MATERIAIS E MÉTODOS 86

4.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA DE ESTUDO	87
4.1.1 A Região Metropolitana de São Paulo	88
4.2 LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO.....	92
4.2.1 Condições Ambientais dos Locais de Disposição Final de Resíduos Sólidos Estudados	94
4.3 SELEÇÃO DOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS ESTUDADOS	95
4.3.1 Área de disposição final de resíduos Santo Amaro	96
4.3.2 Área de disposição final de resíduos Vila Albertina	97
4.3.3 Aterro Sanitário Bandeirantes	98
4.3.4 Aterro Sanitário Sítio São João	100
4.3.5 Aterro Sanitário CTR Caieiras	102
4.3.6 Aterro Sanitário CDR Pedreira	104
4.3.7 Aterro Sanitário de Guarulhos	106
4.3.8 Aterro Sanitário Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL Floresta 108	
4.4 LIXIVIADOS NOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS ESTUDADOS E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA – SÉRIE HISTÓRICA.	110
4.5 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO FUTURA DE LIXIVIADOS PELOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS	113

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 114

5.1 SITUAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DOS ATERROS SANITÁRIOS DA RMSP	115
5.1.1 Avaliação das Condições Ambientais dos Aterros Estudados	117
5.2 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTES	118
5.3 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS SANTO AMARO	120
5.4 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS VILA ALBERTINA.....	123
5.5 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO SÍTIO SÃO JOÃO	125
5.6 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE CAIEIRAS – CTR CAIEIRAS.....	127

5.7 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS - CDR PEDREIRA	129
5.8 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO DE GUARULHOS	131
5.9 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS LESTE – CTL FLORESTA	133
5.10 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	135
5.11 VOLUMES DOS LIXIVIADOS POR LOCAL DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – SÉRIE HISTÓRICA 1998 A 2012	136
5.11.1 Lixiviados gerados nos locais de disposição de resíduos sólidos em operação e encerrados da Região Metropolitana de São Paulo	137
5.12 PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO FUTURA DOS LIXIVIADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	139
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	141
7 REFERÊNCIAS	144
ANEXOS	157
Anexo A - Formulário padronizado aplicado pela CETESB – IQR	157
Anexo B - Formulário padronizado aplicado pela CETESB – IQR Nova Proposta	158
APÊNDICES	160
Apêndice A – Série histórica dos volumes dos lixiviados dos aterros sanitários enviados para tratamento na Sabesp (SAGRE)	160
Apêndice B – Série histórica da precipitação pluviométrica nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo	168
CURRÍCULO LATTES	170

Lista de tabelas

Tabela 1 - Situação operacional dos locais de disposição final de resíduos sólidos em 2002 – Região Metropolitana de São Paulo.	45
Tabela 2 - Aterros e lixões desativados da cidade de São Paulo	45
Tabela 3 - Produção de lixiviado em aterros	60
Tabela 4 - Municípios das sub-regiões da Região Metropolitana de São Paulo	90
Tabela 5 - Locais de disposição de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo selecionados	95
Tabela 6 – Situação da operação das áreas de disposição final de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo no período de 1998 a 2012 ...	115
Tabela 7 - Quantidade de locais de disposição final de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo em relação à condição operacional no período de 1998 a 2012	116
Tabela 8 - Valores do IQR e IQR Nova proposta: 1998 a 2012 por aterro.	117
Tabela 9 - Cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r) para cada local	135

Lista de figuras

Figura 1 - Índice de qualidade de aterros de resíduos no estado de SP.....	19
Figura 2 – Principais vias de exposição aos resíduos em locais de disposição final.....	25
Figura 3 - Destinação e condição da disposição final dos resíduos sólidos domiciliares da RMSP em 2009	33
Figura 4 - Distribuição das empresas que realizam a coleta domiciliar em SP	36
Figura 5 - Imagem do lixão Jardim Gramacho - RJ.....	38
Figura 6 - Aterro controlado de Manaus - AM	40
Figura 7 - Esquema de um aterro sanitário	41
Figura 8 - Aterro Sanitário de Santo André – SP	42
Figura 9 - Aterros e lixões na Região Metropolitana de São Paulo.....	44
Figura 10 - Condições e fatores que influenciam a geração de lixiviados....	58
Figura 11 - Representação hipotética da quantidade de lixiviado produzida por aterros em regiões metropolitanas	59
Figura 12 - Fluxograma com as alternativas para estimar a geração dos lixiviados	64
Figura 13 – Fluxo das águas em aterros de resíduos	66
Figura 14 – Destaque da Região Metropolitana de SP no estado de São Paulo.....	88
Figura 15 - Municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo	89
Figura 16 - Sub-regiões da Região Metropolitana de São Paulo	91
Figura 17 - Imagem aérea do local de disposição de resíduos de Santo Amaro.....	96
Figura 18 - Imagem da área de disposição final de resíduos Vila Albertina..	97
Figura 19 - Imagem do aterro Bandeirantes	98
Figura 20 - Imagem aérea do aterro São João	101
Figura 21 - Imagem aérea do aterro CTR Caieiras (início)	103

Figura 22 - Imagem aérea do aterro CDR Pedreira início	105
Figura 23 - Imagem do aterro de Guarulhos	107
Figura 24 - Imagem do aterro CTL.....	108
Figura 25 – Quantidade de aterros em operação e encerrados na RMSP	116
Figura 26 - Imagem de satélite do aterro Bandeirantes	118
Figura 27 - Geração dos lixiviados no aterro Bandeirantes e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012	119
Figura 28 - Imagem de satélite do aterro Santo Amaro	121
Figura 29 - Geração dos lixiviados no aterro Santo Amaro e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2009	122
Figura 30 - Imagem de satélite do aterro Vila Albertina	123
Figura 31 - Geração dos lixiviados no aterro Vila Albertina e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012	124
Figura 32 - Imagem de satélite do aterro São João (área menor à direita)	125
Figura 33 - Geração dos lixiviados no aterro São João e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012	126
Figura 34 - Imagem de satélite do aterro CTR Caieiras.....	127
Figura 35 - Geração dos lixiviados no aterro CTR Caieiras e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 2004 a 2012	128
Figura 36 - Imagem de satélite do aterro CDR Pedreira (área maior acima)	129
Figura 37 - Geração dos lixiviados no aterro CDR Pedreira e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 2004 a 2012	130
Figura 38 - Imagem de satélite do aterro sanitário de Guarulhos (área menor à direita).....	131
Figura 39 - Geração dos lixiviados no aterro de Guarulhos e a precipitação no município de Guarulhos – Série histórica 2004 a 2012	132
Figura 40 - Imagem de satélite do aterro CTL (área maior à esquerda)	133
Figura 41 - Geração dos lixiviados no aterro CTL e a precipitação no município de São Paulo – Série de 2011 a 2012.....	134
Figura 42 - Volumes anuais dos lixiviados por aterro, enviados à SABESP – Série histórica 1998 a 2012	136

Figura 43 - Geração dos lixiviados nos aterros em operação e encerrados na RMSP - Série histórica 1998 a 2012	138
Figura 44 - Tendências da geração de lixiviados nos aterros em operação e encerrados – próximos 10 anos	139

Lista de símbolos e abreviações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALESP	Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo
AMLURB	Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
APM	Área de Proteção aos Mananciais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQC	Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem
IQR	Índice de Qualidade dos Aterros de Resíduos
IQR-NP	Índice de Qualidade dos Aterros de Resíduos – Nova Proposta
IQR Valas	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos em Valas
LIMPURB	Departamento de Limpeza Urbana
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de alta densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
POA	Processos Oxidativos Avançados
r	Coeficiente de Correlação de Pearson
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RSS	Resíduos dos Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAGRE	Sistema de Avaliação e Gerenciamento do Recebimento de Esgotos Não Domésticos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEMASA	Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André
SMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UE	União Europeia

1 INTRODUÇÃO

As tendências atuais voltadas para a produção mais limpa, o consumo e o uso sustentável dos recursos naturais, as iniciativas globais e o surgimento de novos conceitos que incluem variáveis ecológicas nos modelos de planejamento econômico confrontam-se com o crescente aumento da produção e consumo de bens, principalmente nas últimas décadas, quando tem ocorrido um aumento na produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Considerando-se que as áreas disponíveis para a disposição final correta dos resíduos sólidos gerados são cada vez mais escassas, sobretudo nos grandes centros urbanos, há necessidade de se buscar alternativas para a destinação final adequada desses resíduos.

Uma das maneiras de destinação final é “confinar” os RSU no solo, como em aterros sanitários, forma que tem sido questionada atualmente em relação aos possíveis impactos ambientais causados. Porém, mesmo que seja reduzida a quantidade de resíduos sólidos considerados como rejeitos, isto é, inservíveis que não apresentam mais formas para serem recuperados ou aproveitados, ainda haverá a necessidade de sistemas de disposição final, como os aterros sanitários (SCHARFF *et al.*, 2010). Esses locais devem ser projetados para atender às normas e requisitos de infraestrutura, instalação, operação, plano de encerramento e de monitoramento após seu fechamento.

A disposição final dos resíduos no solo pode gerar impactos nocivos à saúde e ao meio ambiente, principalmente devido aos produtos gerados na decomposição da matéria orgânica, como os gases e o lixiviado: líquido escuro, mal cheiroso e com alto potencial poluidor.

Os lixiviados de aterros de resíduos podem causar grandes danos, sendo que os mais graves são: a contaminação do solo, das águas superficiais e das águas subterrâneas. Assim, é necessário realizar a coleta, o tratamento e o monitoramento periódico desses lixiviados de forma a atender as normas e a legislação vigentes, o que nem sempre acontece. Contudo, não se tem precisão sobre o volume dos lixiviados gerados na maioria dos locais de disposição de resíduos sólidos no Brasil.

Após o término do período de vida útil do aterro, quando as atividades de recebimento dos resíduos são encerradas, continua a ocorrer a produção de gases e de lixiviados por muitos anos, devido à degradação dos resíduos dispostos e às condições climáticas, como precipitação pluviométrica e temperatura (BOCCHIGLIERI, 2005), sendo necessário seu gerenciamento e monitoramento.

A gestão de resíduos sólidos urbanos constitui, hoje, um dos principais problemas ambientais, econômicos e sociais em todo o mundo, principalmente porque o volume de resíduos está crescendo mais rápido do que a população mundial. Além disso, os requisitos ambientais estão mais rigorosos em relação à qualidade das águas superficiais e subterrâneas; assim, o tratamento de lixiviados de aterros tornou-se um assunto de grande interesse ambiental (RENOU *et al.*, 2008).

Segundo WANG *et al.* (2012), é preciso haver planejamento das etapas e ações necessárias para o encerramento dos aterros sanitários, o que compreende os cuidados posteriores ao seu fechamento para assegurar a qualidade ambiental em longo prazo.

Durante o período de operação e após o fechamento dos aterros sanitários devem ser realizadas atividades de monitoramento e controle, tais como o monitoramento da qualidade das águas e do solo; monitoramento e manutenção dos sistemas de drenagem e de tratamento dos lixiviados; monitoramento e controle dos sistemas de drenagem de gases e manutenção geral dos locais.

Em relação à avaliação dos locais de disposição final de resíduos em operação, há o Índice de Qualidade dos Aterros de Resíduos (IQR), estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Esse índice permite acompanhar a evolução das condições ambientais e sanitárias dos aterros de resíduos sólidos em operação no Estado de São Paulo.

Em 2012, por meio dos valores do IQR - Nova Proposta foi possível verificar a melhoria das condições ambientais nos aterros de resíduos dos municípios do estado de São Paulo, desses, 91,6% foram enquadrados em condições adequadas e aproximadamente 8,4% em condições inadequadas (ver Figura 1). Para esses, foi definido prazo para solucionar seus problemas ambientais, conforme o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2012 (CETESB, 2013a).

Figura 1 - Índice de qualidade de aterros de resíduos no estado de SP.

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2012 (CETESB, 2013a).

Em relação à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), onde a grande maioria dos municípios pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê - UGRHI 6, 100% dos municípios foram classificados em condições adequadas no ano de 2012, sendo que dois municípios, Biritiba Mirim e Salesópolis, dispuseram seus resíduos em Tremembé, que igualmente apresenta condições adequadas de disposição final de resíduos (CETESB, 2013a).

Na RMSP, os planos de resíduos sólidos municipais ou microrregionais não abordam a questão específica do tratamento dos lixiviados provenientes dos aterros sanitários. A preocupação quanto ao processo de encerramento dos aterros não é uma prioridade e não há discussões ou propostas de medidas e ações para proteção do meio ambiente nesses locais em longo prazo, onde a geração de lixiviados continua a ocorrer por período de tempo não determinado.

No caso do município de São Paulo, o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (2012) cita apenas que após o esgotamento dos aterros, a área deverá ser coberta e poderá ser utilizada como área de lazer após análise ambiental (PMSP, 2012).

É preciso atentar para a questão da crescente e duradoura geração de lixiviados nos aterros em operação e encerrados, pois durante o período de operação dos aterros o volume de lixiviados aumenta principalmente nos primeiros anos de funcionamento, e nos aterros encerrados, a produção de lixiviados ocorre por tempo ainda não conhecido. Diante desse problema, esse estudo realizou o levantamento dos aterros sanitários cadastrados, em operação e encerrados da RMSP com o fim de verificar sua localização, informações pertinentes e a geração de lixiviados durante o período de operação e após o seu encerramento.

A partir da compilação e organização das informações encontradas sobre a disposição dos RSU nos aterros e a geração de lixiviados nos mesmos, foram traçadas as series históricas para o período estudado, por meio das quais pode-se ressaltar a problemática dos significativos volumes gerados para aterros em operação e encerrados, e uma perspectiva para os próximos anos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a geração dos lixiviados provenientes dos aterros sanitários cadastrados em operação e encerrados, que receberam resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) no período de 1998 a 2012, apresentando o histórico da geração de lixiviados e as necessidades futuras em relação ao tratamento e destinação final desses líquidos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos do trabalho:

- Determinar o volume de lixiviados gerados nos aterros sanitários selecionados nesse estudo, que servem ou serviram os municípios da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP.
- Avaliar o potencial poluidor do lixiviado em relação ao volume produzido e seus possíveis efeitos ao meio ambiente.
- Discutir a necessidade de ações integradas de tratamento e destinação final dos lixiviados com base nas estimativas de geração levantadas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E SAÚDE PÚBLICA

Quanto à origem, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) classifica como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, provenientes das atividades domésticas em residências urbanas e pelos resíduos da limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

A influência dos resíduos sólidos sobre a saúde pública é remota, desde o momento em que o homem deixou os hábitos nômades e passou a reunir-se em grupos maiores que se transformaram em centros populacionais produtores de grandes quantidades e variedades de resíduos (SISINNO, 2000).

De acordo com FERREIRA (2000), os resíduos sólidos domiciliares representam uma ameaça à integridade do ambiente e contém itens perigosos devido a fatores como: utilização de novos produtos na vida moderna, mais conhecimento sobre os impactos de certos materiais no ambiente e a quantidade crescente dos mesmos.

No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro já apresentava problemas relacionados aos resíduos sólidos desde sua fundação. Algumas melhorias começaram a ocorrer somente na época em que a cidade passou a ser capital da colônia, mudança que gerou o aumento das atividades econômicas de importação e exportação de produtos, o que ocasionou um crescimento do consumo pela população e consequentemente o aumento da produção de lixo (SILVA *et al.*, 1990). De acordo com AIZEM e PECHMAN (1985), no século XVIII, a cidade era foco de problemas sanitários. As pessoas que moravam próximas do mar jogavam seus detritos nas praias. Os vizinhos de lagoas, rios e pântanos lançavam seus resíduos nesses locais. Além disso, havia uma vala que atravessava uma região bastante habitada

da cidade, na qual ocorria o lançamento de lixo e grande parte do esgoto produzido. A vala era descoberta e não havia nivelamento adequado, quando ocorriam chuvas torrenciais transbordava e muitas pessoas da cidade sofriam com graves surtos epidêmicos.

A preocupação com a higiene da cidade do Rio de Janeiro levou à procura de locais adequados para disposição do lixo e não mais as praias para vazadouros a céu aberto. Em 1865, as ilhas do Governador e de Sapulcaia foram escolhidas para o despejo do lixo, porém, após algum tempo, essa alternativa tornou-se inadequada, pois a deficiência no transporte pelo mar e o excesso de lixo despejado na Ilha de Sapucaia provocaram poluição das águas da Baía de Guanabara, interferindo nas condições sanitárias da área e do entorno (AIZEM e PECHMAN, 1985).

O tratamento dos resíduos sólidos produzidos na cidade do Rio de Janeiro começou a receber mais cuidado quando passou a ser associado aos surtos epidêmicos que assolavam a população. Os resíduos urbanos, por conterem material fecal, de origem humana e animal, apresentam uma grande quantidade de organismos patogênicos ou resíduos químicos tóxicos que podem atingir o homem direta ou indiretamente e afetar-lhe a saúde (SISINNO, 2000; PEREIRA NETO e STENTIFORD, 1992).

Uma das formas de contato indireto do homem com o lixo ocorre por meio dos vetores transmissores de doenças, dentre eles os mais importantes são os roedores e os insetos, que devem ser controlados. O controle dos roedores é realizado para prevenção e controle de doenças e para reduzir os estragos causados pelos mesmos como: evitar a deterioração de certos produtos e prevenção de acidentes em instalações e máquinas, onde os roedores podem adentrar para roer tubulações plásticas e revestimentos isolantes da fiação elétrica. Há três espécies principais de interesse sanitário, que são: *Rattus rattus* (rato preto, rato de telhado), *Rattus norvegicus* (ratazana, rato de esgoto) e *Mus musculus* (camundongo). Essas espécies apresentam grande capacidade de adaptação e reprodução e vivem em diferentes *habitats*. Os roedores podem transmitir um elevado número de doenças por sua mordida, fezes, urina ou por meio da ação de seus ectoparasitas, que são os parasitas que se localizam na parte externa do hospedeiro, como piolhos e as pulgas (SISINNO, 2000).

Em relação aos insetos, os de maior interesse sanitário são as moscas, mosquitos, pulgas e baratas por serem transmissores de doenças, como por exemplo, febre tifoide e diarreias infecciosas, transmitidas por meio de moscas e baratas, que transportam os microrganismos nas patas, depositando-os em alimentos e utensílios (SISINNO, 2000).

A disposição inadequada dos resíduos sólidos pode causar outros impactos negativos como descreveram BARREIRA e BARNABE (2009):

- Poluição do ar pela liberação de gases, principalmente metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), e odores, partículas em suspensão e poluição química.
- Poluição do solo: contaminação química pela ação dos lixiviados, contaminação biológica, comprometimento do solo para outros fins.
- Poluição da água: contaminação pelos lixiviados, assoreamento, consumo do oxigênio dissolvido; aumento da turbidez, alteração da temperatura dentre outros.
- Poluição visual: espalhamento dos resíduos pela ação do vento e da chuva, comprometimento estético da paisagem.
- Desvalorização espacial: os locais que servem para disposição dos resíduos localizam-se em áreas distantes da aglomeração urbana, onde se encontram pessoas de classe socioeconômica baixa e mais vulneráveis em relação ao ambiente e à saúde.

Os locais de disposição final dos resíduos sólidos podem apresentar fontes de patógenos e substâncias poluentes como, lodos de esgoto, resíduos industriais contaminados, Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), o que aumenta a quantidade de microrganismos nesses locais. A presença de animais nocivos como ratos, pássaros, animais selvagens e insetos também contribui para aumentar a carga de patógenos no local (SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

A Figura 2 ilustra as principais vias de exposição aos riscos potenciais que podem ocorrer a partir das operações de um aterro.

Figura 2 – Principais vias de exposição aos resíduos em locais de disposição final

Extraído e adaptado de: REDFEARN e ROBERTS (2002) citados por SCHIOPU e GAVRILLESCU (2010)

A inalação de produtos químicos volatilizados, em locais de disposição final de resíduos, lagoas e rios contaminados pelos lixiviados é considerada a principal via de exposição desses poluentes ao público (REDFEARN e ROBERTS, 2002 citados por SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

3.2 LEGISLAÇÃO E PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Após ser debatida por cerca de vinte anos no Congresso Nacional, em 2 de agosto de 2010 foi promulgada a Lei Federal nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Esse documento legal cria instrumentos que possibilitarão o planejamento e a adoção de metas importantes em relação à redução, reutilização e reciclagem, bem como a utilização de resíduos sólidos nos processos de recuperação energética, e em especial, estabelece metas para a eliminação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Estabelece ainda que, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

As políticas de resíduos sólidos nacional (Lei nº12.305/2010) e do estado de São Paulo (Lei nº 12.300/2006) citam como pontos importantes a redução da produção de resíduos em excesso, a prática do reúso, da coleta seletiva e da reciclagem. Da mesma maneira, a gestão dos RSU deve ser realizada de forma integrada e regionalizada com a colaboração do Estado e a participação da sociedade civil a fim de alcançar eficiência, proteção ambiental e promover a saúde pública (BESEN *et al*, 2010).

Ambas as legislações citadas anteriormente estão de acordo com a Lei Federal de Saneamento nº11.445/2007 e estabelecem a obrigatoriedade da elaboração de Planos Municipais de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (BESEN *et al.*, 2010).

Um dos principais instrumentos criados pela PNRS foi o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2011), cuja elaboração e avaliação são de competência de um Comitê Interministerial. A principal função do comitê constitui-se no apoio à estruturação e implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais a fim de possibilitar o cumprimento das determinações e das metas previstas na Lei nº12.305/2010.

O Comitê Interministerial é formado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que é o coordenador, e pelos seguintes ministérios: das Cidades; do Desenvolvimento Social e Combate à Fome; da Saúde; da Fazenda; do Planejamento, do Orçamento e Gestão; do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio Exterior; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; da Ciência e Tecnologia; da Casa Civil e da Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos tem horizonte de vinte anos, deve ser atualizado a cada quatro anos e é constituído de um conteúdo mínimo que abrange itens como:

- o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos
- proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas
- metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada
- metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis
- medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos
- normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos
- meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social (MMA, 2011)

O documento preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2011) apresentou o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos, cenários, metas, diretrizes e estratégias para o cumprimento das metas. A versão preliminar foi discutida em conferências, audiências públicas regionais, pelos diversos setores da sociedade a fim de que, por meio dos processos de mobilização e participação social, sugestões e contribuições fossem incluídas no documento final (MMA, 2011). A versão preliminar do Plano nacional de resíduos sólidos foi objeto de discussão

em cinco audiências públicas regionais, uma audiência pública nacional e na consulta pública via internet. Em seguida o documento foi encaminhado aos Conselhos nacionais de Meio Ambiente, das Cidades, dos Recursos Hídricos, de Saúde e de Política Agrícola para a identificação e elaboração das propostas de programas que irão orientar a política de resíduos sólidos no país (MMA, 2012).

Depois de passar pelos conselhos nacionais o Plano Nacional de Resíduos Sólidos foi concluído e de acordo com o gerente de projetos da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano encontra-se pronto, mas aguarda ser decretado pela Presidência da República (NITAHARA, 2013).

3.3 PLANOS ESTADUAIS E MUNICIPAIS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que os estados e municípios devam elaborar seus planos estaduais e municipais de resíduos sólidos, respectivamente nos artigos 16º e 18º da Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Essa lei prevê incentivos federais para os Estados que demonstrarem, por meio do plano, que precisam de verba. Os estados que instituírem microrregiões para integrar a organização, o planejamento e a execução das ações serão priorizados no acesso aos recursos da União. Da mesma forma, os municípios também devem elaborar planos que viabilizem a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos. A lei recomenda que os planos incluam mais de um município, para haver uma integração entre os municípios de um mesmo estado. Os planos devem buscar a reunião de regiões metropolitanas, microrregiões e municípios vizinhos.

A PNRS preconiza a integração dos municípios, pois economicamente constitui a forma mais viável para o planejamento e implantação de obras e equipamentos ambientais como os aterros sanitários, apesar da possibilidade de haver conflitos e resistência de cidadãos ou entidades pelo recebimento dos resíduos em seu

município provenientes de outras cidades, de tal modo que, tais desafios devem ser superados (ALMEIDA, 2012).

Os planos estaduais e municipais de resíduos sólidos incluem o tratamento dos resíduos sólidos, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos para promoção da saúde pública e da qualidade ambiental, porém não citam a questão específica dos sistemas de coleta, tratamento e monitoramento dos lixiviados e gases provenientes dos locais de disposição final de resíduos sólidos (ALMEIDA, 2012). O prazo para a apresentação dos planos de resíduos sólidos e para adequação às novas exigências legais dos estados e dos municípios brasileiros foi agosto de 2012, e dentre as medidas previstas cita-se a coleta seletiva de resíduos.

Passados mais de três anos em que a Política Nacional de Resíduos Sólidos entrou em vigor, a maior parte dos estados e municípios não elaborou seus Planos de Gestão de Resíduos Sólidos até julho de 2012, fato que impede a solicitação de recursos federais destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos (AGÊNCIA BRASIL, 2012). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente estima-se que apenas 20% dos 5.565 municípios brasileiros concluíram os planos ou solicitaram verbas para sua elaboração até 2 de agosto de 2012, prazo legal para essa etapa do processo (MEDEIROS E RIOS, 2013).

No município de São Paulo, por exemplo, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos foi aprovado em 18 de abril de 2012, pela Resolução nº 148/CADES/2012. Esse plano apresenta os diagnósticos de cada setor de resíduos sólidos, informações como sua origem histórica e situação atual, sugestões dos projetos de prognóstico futuro, com previsão de avaliação e retorno em médio e longo prazo, a partir da aplicação dos indicadores de desempenho e de melhoria contínua, propostos pelos diversos atores sociais (PMSP, 2012).

No Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Paulo, não foram citados o plano de encerramento dos aterros sanitários, as atividades e os cuidados necessários após o fechamento do aterro, como o monitoramento das águas subterrâneas e dos sistemas de drenagem de lixiviados em longo prazo.

A Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece a exigência da extinção dos locais de disposição de resíduos que se

encontrem em condições inadequadas, como os lixões, até agosto de 2014, constituindo um enorme desafio a ser enfrentado nos próximos anos (ALMEIDA, 2012).

3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

A respeito da disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), no início da década de 90 eram coletadas 15,7 mil toneladas de resíduos sólidos por dia, sendo que 60,8% eram resíduos sólidos domiciliares. Em relação à disposição final, 85,6% do total de resíduos coletados era disposto em aterros sanitários e controlados, 3,8% foi destinado a lixões com cobertura permanente, 6,79% foi destinado aos lixões com cobertura eventual, 4,39% foi aproveitado em usinas de compostagem e apenas 0,03% foram enviados para centros de triagem de materiais recicláveis (TEIXEIRA *et al.*, 1997).

De acordo com TEIXEIRA *et al.* (1997), nem todos os resíduos gerados eram necessariamente coletados, havendo a preocupação com os resíduos tóxicos e nocivos à saúde e ao meio ambiente que eram lançados clandestinamente em locais não fiscalizados pela administração municipal. Segundo os mesmos autores, vinte e um dos trinta e nove municípios da RMSP, ou 53,8% do total dos municípios, adotavam como destinação final dos resíduos os lixões com cobertura permanente ou eventual, o que representava risco local e regional, uma vez que esses resíduos eram dispostos nas margens de rios e córregos que abasteciam várias cidades e alguns lixões localizavam-se em Área de Proteção aos Mananciais (APM).

Segundo TEIXEIRA *et al.* (1997), na região do ABC, formada pelos municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra, foi necessário o estabelecimento de uma política integrada para a gestão dos resíduos sólidos, pois os municípios de

Diadema, São Bernardo do Campo, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra não dispunham de áreas para a destinação final dos resíduos e levavam-nos para um aterro privado em Mauá (Aterro Lara) e para o aterro industrial Boa Hora. A prefeitura de Mauá, em cumprimento da Lei Orgânica do Município, proibiu em abril de 1995, o recebimento dos resíduos gerados nos outros municípios. Diante dos fatos ocorridos os prefeitos dos municípios citados anteriormente viram-se obrigados a recorrerem a outras soluções para a destinação dos resíduos. A princípio os prefeitos recorreram à justiça, a fim de tentarem assegurar os prazos dos contratos em vigor com a empresa Lara. Após a demora do caso na justiça, a questão foi temporariamente solucionada com um acordo em que a Câmara Municipal de Mauá permitiu o uso do aterro sanitário do município até o dia 1º de agosto daquele ano. Os municípios perceberam que a partir de iniciativas isoladas não seria possível solucionar a questão da destinação final dos resíduos. Então, os sete municípios da região do ABC (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra) fundaram o Consórcio Intermunicipal do Grande ABC e passaram a buscar soluções integradas para o problema da disposição final dos resíduos na região. Todavia, a discussão em relação aos locais para construção de aterros e tratamento dos resíduos continuou e os municípios começaram a buscar soluções a partir de estudos em conjunto com a sociedade civil por meio de audiências públicas.

No final da década de 1990, JACOBI e TEIXEIRA (1998) afirmavam que na cidade de São Paulo prevalecia apenas a preocupação voltada para destinação final dos resíduos sólidos e que faltavam iniciativas com ênfase na mudança do comportamento do cidadão em relação aos resíduos que ele produz. De acordo com OLIVEIRA (1997), as projeções realizadas em um estudo pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) em 1992, referentes às "Estratégias para o equacionamento da destinação final dos resíduos sólidos" na RMSP, indicavam que no ano de 2010 a região estaria preparada e equipada para tratar e manejar 20 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares por dia, sem contar os outros tipos de resíduos. Todavia, em 1997, a infraestrutura existente para o tratamento de resíduos na RMSP era obsoleta e saturada. Havia nove aterros controlados ou sanitários, três incineradores, dois aterros para resíduos industriais, 25 lixões em atividade, sendo que nove estavam em área de proteção ambiental e outros milhares de lixões

espalhados na região (OLIVEIRA, 1997). Desde o final da década de 1990 a autora já afirmava que a questão do tratamento e disposição final dos resíduos sólidos na RMSP se tornaria mais grave à medida que a região crescesse. A escolha do modelo de gestão era fundamental e com a dimensão do problema dos resíduos não seria mais possível tomar decisões isoladas e improvisar com medidas como a instalação de aterros controlados ou incineradores.

Segundo OLIVEIRA (1997), a solução do problema dos resíduos sólidos depende da modernização dos instrumentos jurídicos, administrativos, operacionais e sociais utilizados na regulação e organização das atividades de manejo, tratamento e destinação final. Tal modernização deve-se apoiar em processos educativos e pedagógicos direcionados à capacitação dos cidadãos a fim de alcançar metas ambientais para a prática de uma gestão integrada dos resíduos sólidos.

No século XXI, a geração de resíduos acompanhou o crescimento populacional. No ano de 2009, estima-se que foram geradas cerca de 16.000 toneladas de resíduos domiciliares por dia pelos 20 milhões de habitantes dos 39 municípios da RMSP, não incluindo os demais tipos de resíduos urbanos. No ano de 2010, apesar da eliminação dos lixões prevista pela política estadual de resíduos sólidos, na RMSP havia doze municípios que dispunham seus resíduos de forma apenas controlada e a céu aberto, em lixão (BESEN *et al.*, 2010).

Segundo os autores citados anteriormente, na RMSP os resíduos percorrem longos trajetos até seu destino final, por isso os gastos com transporte dos caminhões são significativos (ver Figura 3). Há desperdício de recursos financeiros, emissão de poluentes, desgaste das vias públicas pelo aumento de veículos pesados e riscos de acidentes.

Figura 3 - Destinação e condição da disposição final dos resíduos sólidos domiciliares da RMSP em 2009

Fonte: Extraído de BESEN *et al.*, (2010).

Estima-se que a geração per capita média de resíduos domiciliares na RMSP seja de 0,8 kg/dia e no município de São Paulo seja de 1 kg/dia. (BESEN *et al*, 2010).

3.5 RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Apresenta-se a seguir, um breve histórico sobre a geração de resíduos no município de São Paulo, por sua importante contribuição em relação ao montante de resíduos gerados na Região Metropolitana de São Paulo.

De acordo com JACOBI e BESEN (2011), a questão da geração excessiva e a disposição inadequada dos resíduos, principalmente os domiciliares, têm se agravado e constitui-se numa preocupação mundial.

Segundo TEIXEIRA *et al.* (1997), levando-se em consideração apenas os resíduos sólidos domiciliares, que representam a maior quantidade de resíduos gerados no município de São Paulo, com cerca de 60% de matéria orgânica, são perdidos muitos recursos por apenas enterrar tais resíduos.

No final da década de 1990, os incineradores existentes na capital paulista queimavam uma quantidade significativa de resíduos domésticos, sendo que, a princípio, deveriam receber somente Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS), aeroportos, penitenciárias, documentos sigilosos, drogas apreendidas e animais mortos de pequeno porte. Naquela década, grande parte dos resíduos coletados no município era levada aos aterros sanitários, sendo que 93,8% eram dispostos nos aterros Bandeirantes, Sítio São João e Itatinga (aterro de inertes); 0,3% eram destinados aos incineradores Vergueiro e Ponte Pequena; 5,8% dos resíduos eram dispostos nas Usinas de Compostagem e apenas 0,1% dos resíduos era reciclado (TEIXEIRA *et al.*, 1997).

Em relação às alternativas de tratamento e destinação final dos resíduos, TEIXEIRA (1997) critica o poder público de São Paulo por, em 1997, não ter apresentado iniciativas já conhecidas e bem sucedidas de outros municípios. De acordo com o autor, os administradores de São Paulo, no final da década de 1990, insistiam apenas na instalação de usinas de incineração e se esquivavam para discutir outras formas de tratamento, apesar da situação caótica em que o município se encontrava.

De acordo com JACOBI e BESEN (2011), desde o ano de 2004 o município de São Paulo não dispõe de incineradores e de usinas de compostagem, as quais foram desativadas por ineficiência, obsolescência tecnológica, impactos causados pelos odores e poluição nas áreas vizinhas.

De acordo com TEIXEIRA (1997), o tratamento e a destinação final dos resíduos em São Paulo deveriam basear-se em alternativas já experimentadas e formular políticas públicas para proteção ambiental e o incentivo da participação social nesse processo.

A coleta dos resíduos domiciliares, seletiva e hospitalares é realizada por duas concessionárias, Ecourbis e Loga, que percorrem uma área de 1.523 km². Aproximadamente três mil funcionários trabalham no recolhimento dos resíduos e são utilizados 500 veículos, entre caminhões compactadores e outros específicos para o recolhimento dos resíduos dos serviços de saúde (PMSP, 2014a).

A fim de atender todo o município com a coleta dos resíduos, a cidade foi dividida em duas áreas de atuação: noroeste, sob a concessão da empresa Loga e sudeste, sob responsabilidade da empresa Ecourbis (ver Figura 4).

A área atendida pela Loga abrange as zonas norte, oeste, central e o bairro da Penha. Nessa área no ano de 2011 eram coletadas cerca de 6 mil toneladas de resíduos domiciliares atendendo a aproximadamente 6,1 milhões de habitantes (JACOBI e BESEN, 2011).

A área sob responsabilidade da Ecourbis engloba as zonas sul e leste e atende cerca de 4,2 milhões de habitantes. A quantidade total de resíduos domiciliares coletados diariamente no ano de 2011 nessa área foi de 6 mil toneladas, que eram encaminhadas para o aterro Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL Floresta a partir de 2010 (JACOBI e BESEN, 2011).

Figura 4 - Distribuição das empresas que realizam a coleta domiciliar em SP

Fonte: Setor de Desenvolvimento de Geoprocessamento, LIMPURB I, (PMSP, 2014b).

Além de realizar a coleta dos resíduos, as duas empresas concessionárias são responsáveis pela operação das três áreas de transbordo, Vergueiro, Santo Amaro e Ponte Pequena, devido as grandes distâncias entre os locais de coleta e destinação final dos resíduos (PMSP, 2014a).

O regime de concessão envolve: o investimento na implantação de novas unidades de transbordo, usinas de compostagem, coleta seletiva, a containerização da coleta domiciliar, centrais de triagem e coleta diferenciada em favelas (JACOBI e BESEN, 2011).

Segundo JACOBI e BESEN (2011) a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é realizada sob regime de concessão desde 2002 com prazo de duração de até vinte

anos, pois à época do contrato, a administração considerava essa a melhor alternativa para garantir os investimentos no setor e principalmente dos serviços de destinação, tratamento e de coleta seletiva dos resíduos.

Os RSU gerados na cidade de São Paulo são encaminhados para os aterros CTR Caieiras (operado pela Essencis), CDR Pedreira (ambos privados) e para o aterro municipal Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL Floresta) que iniciou suas atividades no ano de 2011 e atende as regiões sul e leste da cidade (CESTESB, 2012).

De acordo com os autores JACOBI e BESEN (2011), uma cidade como São Paulo deve se unir com outras cidades globais no desenvolvimento de alternativas inovadoras para a gestão das grandes quantidades de resíduos gerados, o que significa diminuir a disposição no solo, universalizar a coleta seletiva com a inclusão dos catadores, estimular a reciclagem e responsabilizar também os consumidores por meio de campanhas educativas, pois grande parte dos mesmos tem pouca informação a respeito do tratamento e destino de seus resíduos. Dessa forma, torna-se necessário romper os obstáculos relacionados aos “interesses econômicos privados” que priorizam apenas a coleta, o transbordo e o aterramento e causam prejuízo ao modelo de uma coleta seletiva mais ampla e abrangente. Segundo os mesmos autores, atualmente o principal desafio relacionado à gestão dos resíduos sólidos na cidade de São Paulo é inverter a forma já estabelecida de pensar e investir cada vez mais na redução da geração excessiva de resíduos, no desperdício e na promoção da coleta seletiva.

3.6 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Há várias formas de dispor e tratar os resíduos sólidos, dentre elas, a mais aplicada e que será abordada nesse estudo é a disposição dos resíduos no solo (em lixões, aterros controlados e aterros sanitários).

3.6.1 Lixões

A disposição dos resíduos em lixões (ver Figura 5) caracteriza-se pela simples disposição dos resíduos sólidos no solo, onde não são aplicados critérios e medidas para proteção do meio ambiente e da saúde da população.

Nesse tipo de disposição, os resíduos permanecem descobertos, expostos a riscos de desmoronamento e de incêndios devido à presença dos gases produzidos na decomposição da matéria orgânica. Ocorre a exalação de maus odores e iminente risco de contaminação do solo e das águas pelo chorume. Outro agravante nos lixões é a presença e o livre acesso de diversos animais, vetores transmissores de doenças e de catadores de resíduos que ficam expostos a muitos perigos (VILHENA, 2010).

Essa forma de disposição dos resíduos apresenta-se como vantajosa para alguns porque em curto prazo os custos são mais baixos, pois não há tratamento dos materiais e nenhum tipo de controle da área utilizada (GONÇALVES, 1997).

Figura 5 - Imagem do lixão Jardim Gramacho - RJ

Fonte: LACERDA, 2012.

No Brasil, apesar de haver disposição dos resíduos em lixões, nos últimos anos ocorreu uma redução da quantidade de resíduos destinados a esses locais.

De acordo com dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em 2000 73,2% dos municípios brasileiros tinham como destino final de seus resíduos sólidos, os lixões ou vazadouros a céu aberto. Em 2008 o valor diminuiu para 50,8% (IBGE, 2010).

No ano 2000, cerca de 45.500 toneladas de resíduos e rejeitos foram dispostos por dia em lixões no país. No ano de 2008, a quantidade diminuiu para cerca de 37.360 toneladas (MMA, 2012).

Dados mais recentes mostram que no ano de 2012 cerca de 32.300 toneladas de resíduos sólidos urbanos foram dispostos diariamente de maneira inadequada em lixões no Brasil, representando cerca de 18% da destinação final dos RSU (ABRELPE, 2012).

3.6.2 Aterros controlados

Essa forma de disposição final apresenta algumas melhorias em relação às condições sanitárias dos lixões. Nos aterros controlados (ver Figura 6) é realizada a cobertura dos resíduos com uma camada de terra, argila ou outro material inerte no final do dia ou período (VILHENA, 2010). Todavia não há itens como: captação de gases, manta de impermeabilização de fundo e sistema de drenagem e tratamento de chorume para evitar a poluição do solo, não sendo, portanto uma forma adequada de disposição final de resíduos sólidos.

Figura 6 - Aterro controlado de Manaus - AM

Fonte: Portal Uol notícias, 2012.

No Brasil houve um pequeno aumento da quantidade de resíduos sólidos domiciliares destinados aos aterros controlados. Em 2000, cerca de 33.800 toneladas de resíduos por dia foram dispostos nesses locais e em 2008 a quantidade aumentou para aproximadamente 36.700 toneladas dispostas por dia (MMA, 2012).

Segundo a PNSB (2008) no ano 2000, 22,3% dos municípios brasileiros dispunham seus resíduos sólidos em aterros controlados; em 2008 essa quantidade aumentou ligeiramente para 22,5% (IBGE, 2010).

A quantidade de RSU que recebem como destino final os aterros controlados, que ambientalmente pouco se diferem dos lixões, continua muito elevado. No ano de 2012, cerca de 43.900 toneladas, representando aproximadamente 24% dos RSU coletados diariamente foram destinados aos aterros controlados (ABRELPE, 2012).

3.6.3 Aterros sanitários

Os aterros sanitários (ver Figura 7) são a forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos que visa minimizar os impactos ambientais e os possíveis danos à saúde pública, pois evita a proliferação de vetores transmissores de doenças, como

por exemplo, os ratos (SCHALCH *et al.*, [s.d.]). Essa forma de disposição baseia-se em princípios de engenharia e em normas técnicas específicas para dispor os resíduos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com camada de terra no término de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 1992).

Figura 7 - Esquema de um aterro sanitário

Extraído de: PMSP, 2013.

De acordo com GONÇALVES (1997), os aterros sanitários devem apresentar o solo impermeabilizado e sistema de drenagem e coleta de chorume.

As mudanças previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/2010, em relação ao recebimento dos RSU pelos aterros sanitários, determinam que nos mesmos ocorra a disposição final ambientalmente adequada que foi definida no artigo 3º, inciso VIII como, “a distribuição ordenada de rejeitos em aterros observando as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos”.

De acordo com RENO *et al.*, (2008), o aterro sanitário como método para a disposição final de resíduos continua a ser amplamente aceito e utilizado devido a suas vantagens econômicas. Além disso, a disposição dos RSU em aterros

sanitários evita os danos ambientais, outras inconveniências e permite a decomposição dos resíduos sob condições controladas (ver Figura 8).

Figura 8 - Aterro Sanitário de Santo André – SP

Fonte: SEMASA [s.d.]

Ainda que sejam utilizadas outras formas de tratamento dos RSU, os aterros sanitários continuarão a ser indispensáveis, pois sempre haverá rejeitos que não podem ser tratados de outras formas (GONÇALVES, 1997).

A quantidade de resíduos sólidos domiciliares dispostos em aterros sanitários no Brasil aumentou de cerca de 49.600 toneladas por dia em 2000 para aproximadamente 110.000 ton/dia em 2008 (MMA, 2012).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008), no ano 2000 17,3% dos municípios dispunham seus resíduos em aterros sanitários e em 2008 esse valor aumentou consideravelmente para 27,7% (IBGE, 2010).

Dados de 2012, mostram que a quantidade de RSU destinados aos aterros sanitários aumentou para cerca de 58%, correspondentes a aproximadamente 105.000 toneladas dispostas diariamente no Brasil (ABRELPE, 2012).

3.7 OS ATERROS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Segundo o estudo de STUERMER *et al.* (2011), os primeiros aterros da RMSP não foram construídos com a infraestrutura sanitária dos aterros atuais. Somente a partir da década de 1970 com a explosão do crescimento populacional na região foi realizada a estruturação da disposição final dos resíduos sólidos urbanos. O primeiro aterro regular da cidade de São Paulo foi o aterro Lauzane Paulista, localizado na Vila Santa, zona norte da cidade, que surgiu somente em 1974 (KAHTOUNI, 2004 citado por STUERMER *et al.*, 2011).

Na RMSP há muitos aterros sanitários em operação e encerrados que precisam ser gerenciados, monitorados e passar por manutenção periódica devido a fatores como a geração de lixiviados e de gases por longo período de tempo e a movimentação e estabilização da massa de resíduos dispostos.

Os aterros em operação estão contemplados com o acompanhamento e controle ambiental avaliados por meio do Índice de qualidade de aterros de resíduos da CETESB, todavia a maioria dos aterros sanitários encerrados, não dispõe de informações satisfatórias sobre a quantidade, a localização, administração, condições operacionais, de manutenção, projeto de encerramento das atividades nem índices para avaliar a qualidade ambiental desses locais de disposição final de resíduos.

Tal cenário é preocupante devido a fatores como: a quantidade de aterros encerrados, que, na verdade, funcionaram como lixões durante vários anos e foram parcialmente recuperados na RMSP; o grande volume de lixiviados que foram produzidos durante o período de operação dos aterros e que continuam a ser gerados nesses locais por período de tempo indeterminado e precisam ser tratados adequadamente; e os potenciais riscos à saúde humana e ao ambiente.

Em relação às informações de localização dos aterros sanitários da RMSP, no trabalho realizado por MEYER *et al.* (2004), foram levantadas a quantidade e a localização dos aterros sanitários em operação e encerrados e dos lixões em operação e encerrados na RMSP e foi construído um mapa (ver Figura 9) desses locais.

A compilação das informações apresentadas na Figura 9 pode ser observada na Tabela 1, conforme segue.

Tabela 1- Situação operacional dos locais de disposição final de resíduos sólidos em 2002 – Região Metropolitana de São Paulo

Locais de disposição de resíduos	Em operação	Encerrados	Total
Aterros Sanitários	9	8	17
Lixões	15	56	71
Total	24	64	88

Fonte: Adaptado de MEYER *et al.*, 2004.

STUERMER *et al.* (2011) realizaram o levantamento dos principais aterros sanitários e lixões encerrados do município de São Paulo a partir da década de 1970, sua localização e período de funcionamento, conforme mostra a Tabela 2:

Tabela 2 - Aterros e lixões desativados do município de São Paulo

Lixões	Localização	Período de funcionamento
Lauzane Paulista	Av. Dr. Francisco Raniere x Av. Adolfo Coelho	02/1974 – 11/1974
Jardim Damasceno	R. Feliciano Malabia alt. N. 500 – zona norte	02/1975 – 12/1975
Eng. Goulart	Parque Ecológico do Estado – zona norte	04/1975 – 01/1976
Vila São Francisco	Av. Imperador x Av. Água Haia – zona leste	06/1976 – 07/1976
Carandirú	Av. Zachy Narchi – zona norte	01/1977 – 03/1977
Raposo Tavares	Rod. Raposo Tavares, km 14,5	07/1975 – 08/1979
Pedreira Itapuí	Av. Líder x R. Agostinho de Faria – zona leste	12/1978 – 11/1979
Sapopemba	Av. Sapopemba – zona leste	11/1979 – 02/1984
São Mateus	Marginal Esquerda do córrego Fazenda Velho	02/1984 – 01/1986
Vila Jacuí	Av. Mimo do Vênus – zona leste	03/1981 – 08/1988
Vila Albertina	R. José Aguirre de Camargo – zona norte	03/1977 - 1993
Santo Amaro	Av. Nações Unidas x Av. Interlagos – zona sul	04/1976 – 02/1995
Aterros	Localização	Período de funcionamento
Bandeirantes	Rod. Bandeirantes, km 26,5 – zona noroeste	09/1979 – 11/2007
Sítio São João	Estr. Sapopemba, km 33 – zona leste	12/1992 – 11/2009

Fonte: Adaptado do Departamento de Limpeza Urbana (LIMPURB)/ PMSP (2006) citado por STUERMER *et al.* (2011).

3.8 PROCESSO DE ENCERRAMENTO DOS ATERROS SANITÁRIOS

De acordo com SCHARFF *et al.* (2010), apesar de muitos países direcionarem seus esforços para a reciclagem e o reuso dos resíduos sólidos, os aterros sanitários continuarão a ser necessários para a disposição dos resíduos que não podem ser reciclados ou tratados de outras maneiras. Uma vez que os aterros existirão por muitos anos, medidas para reduzir seus impactos e minimizar suas emissões em longo prazo são necessárias.

Em vários trabalhos nas referências sobre os aterros encerrados é citado o termo “*aftercare*”, que denota as operações e atividades de manutenção e os cuidados posteriores ao encerramento do aterro sanitário, como por exemplo, o monitoramento das águas subterrâneas.

Desde a concepção do projeto de aterros sanitários deve haver um plano de encerramento, pois com o término das atividades de recebimento dos resíduos e de cobertura final do aterro com solo e vegetação, continuam a ocorrer movimentações, deformações horizontais e verticais nos maciços e geração de lixiviados e gases no aterro. Para a elaboração do Plano de Encerramento do Aterro deve-se consultar e utilizar, no mínimo os seguintes dados e documentos (DE JORGE *et al.*, 2004):

- Projeto original de implantação
- Investigações e memorial descritivo
- Relatórios mensais de acompanhamento técnico e operacional
- Monitoramento geotécnico do maciço de resíduos com as leituras e gráficos dos instrumentos correspondentes ao período de operação
- Dados de controles tecnológicos
- Levantamento planialtimétrico cadastral do aterro após seu encerramento
- Informações dos equipamentos e dispositivos instalados, como drenos horizontais profundos, drenos de chorume, drenos de alívio de gás etc;

Após o encerramento do aterro sanitário, os sistemas de drenagem que circundam a área aterrada, as vias de acesso e os sistemas de monitoramento deverão ser

mantidos em funcionamento durante o período de tempo em que os líquidos percolados e o biogás gerado apresentarem potencial poluidor ao solo e às águas superficiais e subterrâneas (VILHENA, 2010).

De acordo com DE JORGE *et al.* (2004), um aterro sanitário somente pode ser considerado encerrado quando estiver estabilizado em relação aos aspectos bioquímicos, geotécnicos e se a área utilizada estiver recuperada e apta para uma nova ocupação. Entretanto, por questão de referência, nesse trabalho será adotado o termo “encerrado” para designar os aterros sanitários que finalizaram as atividades de disposição de resíduos e de cobertura das células do aterro com solo.

Em relação à normatização de projetos de aterros sanitários, no Brasil há a Norma Brasileira (NBR) 13.896 (ABNT, 1997), que determina as condições mínimas para o projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos a fim de proteger as águas superficiais, subterrâneas e as populações vizinhas a esses empreendimentos. Essa norma cita: i) as condições gerais para assegurar o projeto, instalação e operação adequados de um aterro de resíduos não perigosos e estabelece as exigências relacionadas à:

- Localização;
- Segregação;
- Análise de resíduos;
- Monitoramento;
- Inspeção;
- Fechamento da instalação e treinamento pessoal.

Cita também: ii) as condições específicas com as exigências de:

- Proteção das águas superficiais e subterrâneas;
- Impermeabilização do aterro;
- Drenagem e tratamento do líquido percolado;
- Emissões gasosas;
- Segurança do aterro;
- Inspeção e manutenção;
- Procedimentos para registro da operação;
- Plano de encerramento e cuidados para o fechamento do aterro.

O Plano de Encerramento e os Cuidados para o Fechamento do Aterro, apresentam várias medidas que visam principalmente à minimização da necessidade de manutenções futuras no local e a minimização ou a não geração dos líquidos percolados e de gases que podem contaminar as águas superficiais, subterrâneas e a atmosfera.

De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), o Plano de Encerramento do Aterro deve apresentar as definições dos procedimentos para a conservação e a manutenção da área do empreendimento. Os itens que devem constar no plano de encerramento dos aterros são:

- a) Definição dos métodos e das etapas a serem seguidas no fechamento total ou parcial do aterro;
- b) Projeto e construção da cobertura final, de modo que minimize a infiltração de água nas células, necessite de pouca manutenção, não esteja sujeita à erosão, apresente assentamento sem fratura e possua um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro;
- c) Data aproximada para o início das atividades de encerramento;
- d) Estimativa do tipo e da quantidade de resíduos aterrados no momento do encerramento;
- e) Programação dos usos futuros na área do aterro após seu encerramento;
- f) Monitoramento das águas após o término das atividades no aterro;
- g) Definição das atividades de manutenção da área;
- h) Definição da provisão dos recursos financeiros necessários para a execução das atividades de manutenção e monitoramento do aterro encerrado.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no portal eletrônico do Licenciamento Ambiental Unificado, apresenta juntamente com as instruções para ampliação de aterros sanitários, um roteiro para o Projeto de Encerramento e Recuperação de Antigos Lixões (CETESB, [s.d.]). Uma vez que muitos locais de disposição final de resíduos começaram sua operação de maneira irregular, como lixões e posteriormente foram recuperados e transformados em aterros sanitários. Alguns dos itens que constam no roteiro são:

- Levantamento topográfico, investigação geológica, geotécnica e hidrogeológica;
- Reconformação geométrica do maciço e proposição de cobertura final;
- Sistema de drenagem, acumulação e tratamento de líquidos percolados;
- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de drenagem de gases;
- Plano de monitoramento geotécnico, de gases e das águas superficiais e das águas subterrâneas na região do aterro;
- Cobertura vegetal;
- Cronograma de execução;

Além das exigências técnicas estabelecidas no plano de encerramento, no período de fechamento do aterro deve-se atender ao dispositivo legal previsto pelo Decreto Estadual nº 55.149 de 10 de dezembro de 2009, que “dá nova redação” aos dispositivos do Decreto Estadual nº 47.400, de 4 de dezembro de 2002, que regulamenta as disposições da Lei Estadual nº 9.509, de 20 de março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental (SÃO PAULO, 2009).

No artigo 5º do Decreto Estadual nº 55.149 é estabelecido que os empreendimentos sujeitos a licenciamento ambiental devem comunicar ao órgão ambiental responsável a suspensão ou encerramento das suas atividades. No mesmo artigo é instituído que o órgão ambiental, no caso de São Paulo a CETESB, deverá analisar o plano de desativação do empreendimento e verificar a adequação das propostas apresentadas no prazo de sessenta dias.

Após o encerramento total do aterro há várias atividades previstas na NBR 13.896 (ABNT, 1997) que deverão ser executadas, relacionadas principalmente ao monitoramento e manutenção do aterro e são elas:

- Monitoramento das águas subterrâneas por um período de vinte anos, após o encerramento da instalação. Sendo que, esse prazo poderá ser menor ou maior de acordo com a constatação do término ou da continuação da geração dos lixiviados.

- Manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento dos lixiviados até o término de sua geração.
- Manutenção da cobertura final a fim de corrigir rachaduras ou erosão.
- Manutenção do sistema de tratamento dos lixiviados até o término de sua geração ou até que esses líquidos atendam os padrões legais de emissão exigidos.
- Manutenção do sistema de coleta de gases até a comprovação do término de sua geração.
- Possibilidade da convocação do responsável pela área, a manutenção do isolamento do local no caso de existir o risco de acidente às pessoas ou animais com acesso a ela.

Ressalta-se que o único prazo estabelecido para realização de algum tipo de monitoramento após o encerramento do aterro citado na NBR 13.896 é o das águas subterrâneas, com duração de 20 anos ou mais. Citam-se também que a manutenção dos sistemas de tratamento dos lixiviados e de coleta de gases deve ocorrer enquanto houver geração dos, mesmos.

A legislação e as normas referentes ao encerramento dos locais de disposição final de resíduos sólidos são relativamente recentes no Brasil e seu estabelecimento é muito importante e necessário para melhoria e adequação das condições ambientais nos aterros, bem como da elaboração de normas complementares com exigências específicas de acordo com o tamanho do aterro, por exemplo.

Dessa maneira, pode-se observar que o processo de encerramento de aterros sanitários envolve várias exigências e implantação de medidas que visem à minimização dos impactos causados pelos aterros ao meio ambiente, uma vez que, tanto no período de operação quanto no período após o fechamento dos aterros ocorre a geração de efluentes e as necessidades de manutenção desses locais por longo prazo.

Em relação ao uso futuro de locais onde funcionaram aterros, a viabilidade e segurança devem ser avaliadas, e sua utilização deve estar em harmonia com a ocupação do entorno, devendo-se evitar grandes construções e preferindo-se a edificação de áreas de recreação comunitárias. A utilização do local somente poderá

ocorrer se os riscos de colapsos do solo, produção de biogás e demais fatores estiverem reduzidos a níveis aceitáveis (VILHENA, 2010).

3.8.1 Encerramento dos Aterros Sanitários na União Europeia

Na União Europeia (UE), diretivas regulatórias estabelecem que os cuidados posteriores ao fechamento do aterro, como por exemplo, de manutenção e de monitoramento, somente terminam quando o aterro não apresenta mais riscos adversos sobre o ambiente (WANG *et al.*, 2012).

Em relação à legislação sobre o tema dos resíduos sólidos e itens relacionados, a União Europeia (UE) adotou a Diretiva 1999/31/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 1999) do conselho do dia 26 de abril de 1999, referente à disposição de resíduos em aterros, levando em consideração vários itens, dentre estes os relacionados aos aterros encerrados, os quais citam-se a seguir:

- Segurança e controle dos aterros onde serão dispostos os resíduos.
- Condições de localização, gestão, controle, encerramento do aterro, e proteção ao meio ambiente, principalmente contra a poluição das águas subterrâneas provocada pela infiltração dos lixiviados no solo.
- Definição de como e quando deve ocorrer o encerramento do aterro e quais são as obrigações e responsabilidades da empresa operadora do aterro durante todo seu ciclo de vida, inclusive na fase de manutenção após seu encerramento.
- Garantia financeira de que a empresa operadora do aterro cumprirá todas as suas obrigações, incluindo o processo de encerramento e a manutenção do aterro após seu encerramento.

No artigo 13 (d) da Diretiva europeia 1999/31/CE é dito que enquanto as autoridades competentes, que são as pessoas designadas pelos Estados-membros da UE como responsáveis pelo desempenho das funções previstas na diretiva, considerarem que o aterro pode apresentar perigo ao ambiente, a empresa operadora do empreendimento é responsável pelo acompanhamento e análise dos gases e dos lixiviados provenientes do local e do sistema de monitoramento das águas subterrâneas na região do aterro (PARLAMENTO EUROPEU, 1999).

Com base nessas diretivas, SCHARFF *et al.*, (2010) afirmam que a conclusão da manutenção do aterro após seu encerramento somente pode ser definida quando a autoridade competente for convencida de que o aterro sanitário não causará mais danos ao ambiente e à saúde humana.

A diretiva europeia 1999/31/CE, não estabelece quando ou como deve ocorrer a conclusão dos cuidados posteriores ao encerramento do aterro. Como resultado as empresas operadoras do aterro não têm certeza das ações necessárias e dos prazos referentes ao término das atividades de manutenção do aterro, bem como das reservas financeiras para efetuar o encerramento do aterro (SCHARFF *et al.*, 2010).

Nesse sentido o Reino Unido lançou um documento com orientações sobre a conclusão de aterros e sua rendição (título original: “*Guidance on Landfill Completion and Surrender*”, 2005). O objetivo geral desse documento é garantir que os locais de disposição de resíduos permaneçam sob controle regulatório até não haver mais necessidade de tal controle e, mais especificamente, que a autorização de encerramento total do local não ocorra até que a agência ambiental considere que o aterro não apresenta mais riscos de poluição. Segundo SCHARFF *et al.* (2010) esse documento é muito útil, na medida em que apresenta opções para incluir as situações específicas de cada local. O documento também fornece às empresas operadoras dos aterros, métodos ideais para acelerar a estabilização dos resíduos no aterro.

Nos países membros da UE o período de tratamento após o encerramento do aterro ocorre durante cerca de trinta anos. Nesse período um dos problemas mais críticos são os custos envolvidos no monitoramento e na manutenção do aterro, sendo que

as maiores parcelas dos gastos operacionais referem-se ao gerenciamento e tratamento dos lixiviados gerados (WANG *et al.*, 2012).

Simuladores de aterros sanitários têm sido utilizados para estimar a estabilização das concentrações de lixiviados em longo prazo. Os resultados mostram que o nitrogênio permanece por mais tempo nos efluentes, cerca de duzentos anos ou mais. Assim, esse resultado determina o tempo de duração dos cuidados posteriores ao encerramento do aterro (Heyer, 2003; WANG *et al.*, 2012). Por esta razão, as alternativas de gestão que permitem a solução do problema do nitrogênio em um período de tempo menor e de forma mais sustentável são de grande interesse, uma vez que as atividades de manutenção do aterro são dificultadas em longo prazo e os custos se tornam substanciais (WANG *et al.*, 2012).

Segundo SCHARFF (2011), o maior desafio não resolvido relacionado aos aterros sanitários consiste na questão de como lidar com o legado intergeracional deixado pelos mesmos, os quais podem exigir cuidados por trinta, sessenta e até seiscentos anos após seu encerramento. A solução desse assunto envolve questões técnicas, científicas, operacionais, ambientais, econômicas e éticas, bem como exige o esforço concentrado da comunidade internacional.

3.8.2 Monitoramentos Ambiental e Geotécnico

Segundo DE JORGE *et al.* (2004) devido à continuidade dos deslocamentos horizontais e verticais e da geração de gases e lixiviados por longo prazo nos aterros encerrados, torna-se necessário monitorar de forma sistemática e periódica o comportamento deformacional e a qualidade ambiental do aterro e seu entorno. O monitoramento e o controle geotécnico e ambiental do aterro devem estar integrados ao seu plano de encerramento. Devem constar no conteúdo mínimo do monitoramento ambiental os seguintes dados e documentos:

- Mapa potenciométrico da área do aterro, com a direção dos fluxos subterrâneos
- Localização dos corpos d'água superficiais em planta, incluindo-se afloramentos e nascentes de água
- Laudos técnicos das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água e dos lixiviados no período de operação do aterro
- Dados cadastrais de instalação dos poços de monitoramento
- Parâmetros de análise e padrões de referência adotados.

O sistema de monitoramento do aterro sanitário tem a função de acompanhar e de detectar em estágio inicial, os impactos ambientais negativos causados no local pelo empreendimento (VILHENA, 2010). Outra finalidade do monitoramento ambiental consiste em acompanhar o comportamento mecânico e o desempenho ambiental do aterro, para detectar alterações no padrão de desempenho esperado e propor novas medidas de prevenção e de correção no aterro (DE JORGE *et al.*, 2004).

O monitoramento ambiental deve continuar a ocorrer após o encerramento do aterro e envolve serviços básicos de conservação e manutenção com a aplicação de medidas com caráter preventivo como:

- Limpeza e desobstrução dos dispositivos de drenagem superficial
- Retaludamento dos maciços
- Recuperação dos trechos com processos erosivos
- Correção no caso do surgimento de lixiviados
- Implantação e conservação da cobertura vegetal das superfícies do aterro
- Acompanhamento dos resultados do monitoramento a fim de evitar a ocorrência de danos no aterro.

Além do monitoramento ambiental nos aterros em operação ou encerrados é necessário também o monitoramento geotécnico que tem por objetivo analisar o comportamento deformacional do maciço e identificar feições de degradação, de instabilidade e de situações de risco quanto à perda ou redução da estabilidade global do maciço e de seus taludes. Os resultados do monitoramento geotécnico orientam a execução dos serviços de conservação e manutenção e possibilitam a execução das medidas preventivas e corretivas em tempo hábil nas áreas afetadas e potencialmente instáveis. As atividades do monitoramento geotécnico em um

aterro encerrado devem ser estruturadas e organizadas em um plano operacional, o Plano de Monitoramento Geotécnico, que deve fazer parte do Plano de Encerramento do Aterro (DE JORGE *et al.*, 2004).

Na elaboração do Plano de monitoramento geotécnico, o padrão de desempenho mecânico esperado e os parâmetros de verificação de desempenho devem ser estabelecidos. Os parâmetros básicos que são frequentemente considerados são: os deslocamentos horizontais e verticais, os níveis piezométricos, pressões de gás, vazões de chorume e índices pluviométricos (DE JORGE *et al.*, 2004).

Segundo DE JORGE *et al.* (2004) o acompanhamento e análise do comportamento deformacional do maciço são realizados por meio de vistorias periódicas e dos resultados das leituras dos marcos superficiais compreendidos de forma integrada. Dessa maneira, pode-se verificar a magnitude dos deslocamentos horizontais e verticais ao longo do tempo e as necessidades de investigações específicas para o aumento da rede de monitoramento ou de medidas corretivas. Os monitoramentos ambiental e geotécnico de aterros encerrados são realizados de acordo com os resultados das observações realizadas em campo, das análises dos instrumentos instalados, das análises físico-químicas e microbiológicas das águas superficiais e subterrâneas e das amostras dos lixiviados, bem como o acompanhamento da qualidade dos solos e do ar. O monitoramento ambiental e geotécnico é realizado a partir das seguintes atividades:

- Definição do desempenho mecânico (comportamento deformacional) e ambiental (atendimento dos padrões de referência de qualidade) esperado;
- Definição dos parâmetros e dos indicadores para análise do desempenho;
- Definição dos dados necessários para análise e interpretação do comportamento geotécnico e ambiental;
- Obtenção dos dados instrumentais e observacionais;
- Análise e interpretação dos dados obtidos e comparação com os valores esperados e de referência ambiental;
- Aplicação dos dados obtidos para a manutenção e conservação do aterro por meio de medidas preventivas, corretivas e de remediação, caso seja necessário.

O principal item de controle ambiental que deve ser monitorado são os líquidos percolados, que devem ser monitorados para verificar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a fim de identificar possíveis alterações dos cursos d'água da região causadas pelo aterro. As amostras de águas superficiais e subterrâneas devem ser coletadas a montante e à jusante do aterro (VILHENA, 2010).

A camada de cobertura final do aterro deve ser complementada a fim de evitar o surgimento de vetores transmissores de doenças e percolação inadequada de líquidos e de gases.

3.9 LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS - DEFINIÇÃO E GERAÇÃO

A Norma Brasileira NBR 8419 (ABNT, 1992) define lixiviação como o processo de arraste de certas substâncias contidas nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por meio líquido e define percolado por ser o líquido que passou por um meio poroso, que no caso dos aterros sanitários são os RSU. A referida norma define também chorume ou sumeiro, como o líquido derivado da decomposição anaeróbia da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos aterrados, que apresenta coloração escura, mau cheiro, alto potencial poluidor e faz parte da composição dos lixiviados.

De acordo com HAMADA (2003) o lixiviado pode ser definido como a fase líquida dos resíduos sólidos aterrados, que percola através da massa dos resíduos e remove substâncias e materiais dissolvidos. Quanto mais líquidos percolam pelos resíduos mais poluentes são lixiviados.

Nesse estudo será adotada a denominação “lixiviado” por acreditar que este termo seja o mais adequado para definir o conjunto de líquidos gerados a partir da percolação desses efluentes na massa de resíduos e da disposição dos resíduos nos aterros e que necessita de tratamento, que é o objeto de estudo dessa

pesquisa. Em alguns casos é utilizado o termo chorume para designar apenas os líquidos provenientes da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos dos aterros sanitários.

3.9.1 Fatores que Influenciam a Geração dos Lixiviados

Além da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, a produção dos lixiviados nos aterros sanitários está relacionada a vários itens que interferem na sua quantidade e características. A partir de diversos estudos realizados em campo e laboratório, foram identificados os principais fatores de projeto e operação dos aterros que determinam a geração dos lixiviados.

Segundo LECKIE *et al.* (1979), citados por QASIM e CHIANG (1994), os fatores mais relevantes para a geração de lixiviados são: precipitação anual, escoamento, infiltração, evaporação, transpiração, congelamento, isto é a temperatura ambiente, composição e densidade dos resíduos, conteúdo de umidade inicial e profundidade do aterro sanitário.

A geração de lixiviados está relacionada ao fluxo de água que passa pelos resíduos sólidos a partir do momento em que se alcança a capacidade de campo. FENN *et al.* (1975) definem capacidade de campo como, o conteúdo máximo de umidade que pode ser retido pelo solo (ou pelos resíduos) sem percolação contínua por gravidade. Assim, a taxa de percolação da água seria igual à taxa de geração de lixiviados depois de atingida a capacidade de campo.

Lu *et al.* (1981) citados por QASIM e CHIANG (1994) resumiram a maioria dos fatores que influenciam as condições e determinam a geração dos lixiviados em aterros sanitários, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Condições e fatores que influenciam a geração de lixiviados

Condições	Fatores	
A. Fontes de lixiviados	Precipitação	Chuva: quantidade, intensidade, frequência e duração.
		Neve: temperatura, velocidade do vento, características de acumulação, condições anteriores, efeito da chuva sobre a neve.
	Escoamento superficial	Topografia (por ex.: dimensões, forma, orientação, altitude e configuração da superfície), material da cobertura, vegetação, permeabilidade, solo anterior, saturação do solo antecedente, precipitação.
	Águas subterrâneas	Direção de fluxo, taxa e localização.
	Irrigação	Vazão e volume.
	Decomposição dos resíduos	Disponibilidade e pH da umidade, temperatura, presença de oxigênio, tamanho das partículas e mistura dos resíduos.
	Resíduos líquidos/ lodo de codisposição	Tipo e quantidade, conteúdo de umidade, capacidade de retenção de umidade, compactação.
B. Condições da superfície do aterro	Evapotranspiração	Temperatura: vento, umidade, pressão atmosférica, material de cobertura, conteúdo de umidade do solo, radiação solar, taxa de decomposição e características dos resíduos.
	Escoamento superficial	Topografia da superfície, material da cobertura, vegetação, permeabilidade, condições do solo antecedente e da umidade dos resíduos, precipitação.
	Infiltração	Material da cobertura, topografia da superfície, vegetação, condições de drenagem subterrânea, escoamento superficial e evapotranspiração.
C. Condições dos resíduos	Retenção de umidade	Conteúdo de umidade inicial, capacidade de campo.
	Percolação	Permeabilidade, conteúdo de umidade, uniformidade e espessura da camada.
D. Condições do solo subjacente	Retenção de umidade	Conteúdo de umidade inicial, capacidade de campo.
	Percolação	Permeabilidade, conteúdo de umidade, uniformidade a espessura das camadas de solo.

Extraído de: LU *et al.* (1981), citados por QASIM e CHIANG (1994).

Segundo MC BEAN *et al.* (1995), citados por BOCCHIGLIERI (2010), a geração de lixiviado apresenta variação da vazão em função do tempo. A variabilidade nos estágios iniciais ocorre em relação ao tempo decorrido até que as várias porções locais do aterro atinjam a capacidade de campo. Ressalta-se que o fator de maior influência sobre o volume dos lixiviados é a infiltração das águas de chuva.

A continuidade da produção de lixiviado constitui um sério problema, pois é necessário haver tratamento adequado por longo período de tempo e levar em consideração os acréscimos de carga e vazão aos sistemas de tratamento de esgotos que não foram planejados para tratar os lixiviados dos aterros sanitários.

A Figura 11 traz a representação hipotética da evolução da quantidade de lixiviado produzida nos aterros e como ela se acumula ao longo do tempo.

Figura 11 - Representação hipotética da quantidade de lixiviado produzida por aterros em regiões metropolitanas.

Fonte: BOCCHIGLIERI, 2010.

De acordo com a Figura 11, considera-se que:

- t_1 = momento em que o Aterro 1 é encerrado e o 2 entra em operação.
- t_2 = momento em que o Aterro 2 é encerrado e o 3 entra em operação.
- t_3 = momento em que o Aterro 3 é encerrado e o 4 entra em operação e assim por diante até o momento t_n .

Dessa maneira, o volume total de lixiviados ao longo do tempo, pode ser estimado conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Produção de lixiviado em aterros

Tempo	Volume
t_1	$V, t_1 = V_1$
t_2	$V, t_2 = V_2 + \Delta V_1, t_2$
t_3	$V, t_3 = V_3 + \Delta V_2, t_3 \Delta V_1, t_3$
t_4	$V, t_4 = V_4 + \Delta V_3, t_4 + \Delta V_2, t_4 + \Delta V_1, t_4$
t_n	$V, t_n = V_n + \Delta V_{n-1}, t_n + \Delta V_{n-2}, t_{n-2} + \Delta V...$

Fonte: Extraído de BOCCHIGLIERI, 2010 (adaptada).

3.9.2 Riscos relacionados aos Lixiviados

Os lixiviados arrastam consigo materiais dissolvidos e em suspensão, fixos ou voláteis o que faz com que tenham cargas orgânicas elevadas, metais pesados, ácidos, sais e microrganismos (LEDESMA *et al.*, 2000).

De acordo com BAIRD (2002) o lixiviado (ou chorume) contém contaminantes provenientes da massa de resíduos sólidos. Entre os micropoluentes presentes no lixiviado de aterros encontram-se os Compostos Orgânicos Voláteis – COVs como o tolueno e o diclorometano, que podem causar efeitos prejudiciais à saúde humana. Esse efluente contém também ácidos orgânicos voláteis, como por exemplo, o ácido acético; bactérias; metais pesados e sais de íons inorgânicos como Ca^{2+} .

Foram identificadas mais de cem substâncias nocivas à saúde humana em amostras de chorume proveniente de resíduos urbanos, dentre as quais: arsênio, antimônio, tetracloreto de carbono, chumbo, clorofórmio, cádmio, mercúrio (CHILTON e CHILTON, 1992).

Durante a década de 1990, componentes como bisfenol A, ftalatos e nonilfenol, considerados interferentes endócrinos e mais recentemente os compostos farmacologicamente ativos (PhACs) e sulfonatos aromáticos, hidrocarbonetos clorados voláteis, fenóis e cresóis foram identificados em várias concentrações no chorume (SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

Devido ao transporte e migração dos lixiviados no solo, cerca de mil compostos químicos orgânicos foram encontrados em águas subterrâneas contaminadas por aterros sanitários (SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

Dentre os compostos tóxicos encontrados nos lixiviados, as espécies de nitrogênio amoniacal (NH_3 - N) foram identificadas como um dos principais agentes tóxicos para os organismos aquáticos, uma vez que as concentrações superiores a 100 mg/L podem estimular o crescimento de algas, inibir a nitrificação, e apresentar efeitos tóxicos em organismos vivos (SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

Os riscos dos lixiviados de aterros sanitários foram confirmados por meio de análises de toxicidade realizadas com vários organismos teste como, *Vibrio fischeri*, *Daphnia similis*, *Artemia salina* e *Brachydanio rerio* (SISINNO *et al.*, 2000).

Os autores RENOU *et al.*, (2008) ressaltam a necessidade de tratar os lixiviados de maneira a atender os padrões exigidos para seu despejo nos corpos receptores.

Devido à alta periculosidade dos lixiviados, os locais que têm aterros sanitários apresentam um importante potencial de contaminação, principalmente do solo e das águas. Se não houver nenhum tipo de tratamento desses efluentes, os riscos de contaminação das águas superficiais e das águas subterrâneas serão elevados (EHRIG, 1984).

3.10 A ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE LIXIVIADOS

A geração dos lixiviados de aterros sanitários constitui um processo complexo que depende não apenas das características dos resíduos dispostos, mas também das interações dos resíduos com a percolação da água através do aterro, das variáveis operacionais, como as condições de acomodação dos resíduos, das condições climáticas, do projeto do aterro e da interação dos resíduos dispostos com as águas subterrâneas (WILLIAMS *et al.*, 1987).

Os níveis de precisão das estimativas dos fluxos dos lixiviados provenientes dos aterros apresentam difícil determinação devido às incertezas associadas com a obtenção dos valores dos diferentes componentes que levam a geração dos lixiviados, como por exemplo, a evapotranspiração (ENGLEHARDT *et al.*, 2006 citados por SCHIOPU e GAVRILLESCU, 2010).

De acordo com EHRIG (1984), o desenvolvimento de modelos matemáticos para determinar a geração de lixiviados em aterros sanitários é muito difícil devido às variações pelas quais os resíduos sofrem, como, a degradação dos componentes da matéria orgânica e sua quantidade que diminui com o passar do tempo e os tamanhos dos “grãos” dos resíduos que se diferenciam dos solos naturais.

Há muitas diferenças na aplicação da técnica do balanço hídrico em solo natural e nos aterros sanitários, pois estes apresentam estrutura granular grossa, quantidade de matéria orgânica muito maior (30 a 40%) que nos solos naturais, onde há cerca de 1 a 4%. A maior parte dos resíduos sólidos, cerca de 70 a 96%, apresenta tamanho granular maior do que 2 mm. Além do fato de que a taxa de decomposição depende das condições ambientais, como por exemplo, da temperatura (EHRIG, 1984).

Pela necessidade de considerar vários componentes, condições locais específicas e diversas variáveis, há tantas dificuldades para estimar a geração dos lixiviados nos aterros sanitários bem como num mesmo aterro (EHRIG, 1984).

De acordo com EHRIG (1984), a precipitação é o fator mais importante de entrada de água no aterro, porém a infiltração não pode ser estimada se os dados de evaporação da superfície do aterro forem desconhecidos.

Vários modelos têm sido utilizados para auxiliar na compreensão das formas de estimar os lixiviados, relacionando as formas de destinação, de tratamento e o transporte dos lixiviados (com seus contaminantes) a partir do local de origem para o solo, águas superficiais e subterrâneas (JHAMNANI e SINGH, 2009).

Lu *et al.* (1981, 1984) citados por QASIM e CHIANG (1994), resumiram as técnicas disponíveis para estimar os volumes de lixiviados gerados em aterros sanitários, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma com as alternativas para estimar a geração dos lixiviados

Extraído de: LU *et al.* (1981, 1984), citados por QASIM e CHIANG (1994)

3.10.1 Método para Estimar a Geração de Lixiviados - Balanço Hídrico

Existem vários métodos para estimar a geração dos lixiviados a serem gerados nos aterros sanitários, dentre eles um dos mais utilizados é o Balanço Hídrico, que se baseia no balanço das águas no solo ou nos aterros sanitários. A seguir estão a descrição, aplicação e as limitações deste método.

O balanço hídrico é um dos métodos mais utilizados atualmente para a determinação dos volumes de lixiviados gerados em aterros sanitários. Esse método foi proposto por FENN *et al.* em 1975, a partir da adaptação do modelo de balanço hídrico publicado por Thornthwait em 1955, aplicado no campo de conservação do solo e da água (FIRTA e CASTILHOS JR, 2003).

O método balanço hídrico se aplica em casos em que há grande disponibilidade de dados de precipitação e evapotranspiração que foram medidos no aterro ou na estação meteorológica mais próxima. Para garantir a confiabilidade dos dados, os mesmos devem ser validados e comparados com outros valores de outras estações próximas ao do local estudado. Os parâmetros meteorológicos que devem ser utilizados são as médias aritméticas mensais (FIRTA e CASTILHOS JR., 2003).

De acordo com FENN *et al.* (1975), a fração da precipitação que infiltra no solo é a principal fonte de contribuição para a geração de lixiviados de aterros sanitários. A infiltração de água no solo de cobertura do aterro e a subsequente percolação na massa de resíduos sólidos serão determinadas pelas características da superfície do aterro e pelas condições climáticas locais.

A fim de avaliar a geração dos lixiviados em certa área é necessário analisar detalhadamente o solo de cobertura do aterro e as condições climáticas locais em questão.

O método do balanço hídrico baseia-se na quantidade de água livre no solo. Até a capacidade de campo ser atingida, a umidade no solo é considerada como um balanço das entradas, como resultado das precipitações e das saídas na forma de evapotranspiração. Um dos fatores relevantes desse método é a quantidade de

água disponível no solo, pois a variação desse item interfere na perda por evapotranspiração e recarga do solo pela infiltração (FENN *et al.*, 1975).

Os componentes utilizados no balanço hídrico que regem a taxas de percolação são: a precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração e a capacidade de armazenamento de água no solo, ou pelos resíduos (ver Figura 13).

Figura 13 – Fluxo das águas em aterros de resíduos

Extraído de: NETO (1985) citado por ROCCA *et al.* (1993).

O caminho da água através de um aterro sanitário consiste basicamente em duas fases – a primeira através da camada de cobertura do solo, onde ocorre a infiltração da água e na segunda ocorre a percolação por meio dos resíduos compactados. A cobertura do solo é a fase que interage diretamente com a atmosfera e determina a quantidade de infiltração no solo e da percolação para os resíduos sólidos. A composição dos resíduos sólidos e sua capacidade de reter a umidade determinam

a qualidade e o tempo em que ocorrerá a primeiro aparecimento do lixiviado (FENN *et al.*, 1975).

O método do balanço hídrico trata o regime da cobertura do solo como um sistema unidimensional de umidade, por isso as condições de superfície do aterro sanitário devem ser bem definidas. O tipo e a espessura da cobertura, as características topográficas, a presença e o tipo de vegetação compõem as características que influenciarão a percolação no local (FENN *et al.*, 1975).

Segundo FIRTA e CASTILHOS JR. (2003), há três fatores críticos que devem ser considerados no balanço hídrico, os conceitos de armazenamento de água no solo, a evapotranspiração e o escoamento superficial.

De acordo com FENN *et al.* (1975), o método do balanço hídrico apresenta as seguintes características em relação à geração de lixiviados:

- A geração de lixiviados ocorre em áreas úmidas, enquanto que em áreas secas quantidades não significativas serão geradas.
- A geração de lixiviados com um fluxo constante é improvável ao longo do ano ou de ano para ano, mas segue um padrão semelhante ao da precipitação.
- Em áreas úmidas a hidrogeologia do aterro deve ser cuidadosamente avaliada para determinar sua capacidade inerente de atenuar naturalmente os contaminantes do chorume. Caso o resultado da avaliação determine a existência de poluição da água, atividades de coleta e de tratamento dos lixiviados devem ser empregadas.
- A geração de lixiviados pode ser minimizada se houver cobertura final adequada e eficiente do aterro, projeto de drenagem da superfície final, seleção adequada da cobertura vegetal e, em alguns casos, a determinação do uso final do aterro.
- A produção de lixiviados eventualmente cessará se o uso final do aterro impedir a percolação.

O mesmo autor afirma que, de acordo com as afirmações acima, torna-se evidente que a geração de lixiviados ocorrerá por um longo período de tempo, a menos que a percolação seja evitada por meio de procedimentos operacionais e de encerramento do local. Se a percolação for evitada no uso final do local, a geração de lixiviados cessará logo após a conclusão do aterro.

Apesar de o método do balanço hídrico ser muito utilizado, sua precisão e sensibilidade não são muito estudadas e dependem das condições locais da análise de cada aterro.

3.11 FORMAS DE TRATAMENTO DOS LIXIVIADOS

A contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas próximo aos locais de disposição final de resíduos sólidos é um dos principais problemas relacionados à saúde pública e ao ambiente (SISINNO, 2000).

Pelo fato dos lixiviados apresentarem alto potencial de poluição ao ambiente, devido às suas elevadas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas seu tratamento é necessário (VILHENA, 2010).

O chorume apresenta valores de pH variáveis de acordo com o estágio de decomposição predominante da massa de resíduos e possui altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO), isto é, 200 vezes superiores das encontradas nos esgotos sanitários, sendo comum a presença de produtos químicos tóxicos. A composição do chorume varia de acordo como as concentrações das substâncias nele contidas, com o estágio de decomposição da matéria orgânica, com a precipitação pluviométrica, com a idade da massa de resíduos e por fim, sua composição varia para cada tipo de aterro e para cada conjunto de células do mesmo aterro. Devido a tantas variáveis envolvidas na composição dos lixiviados, seu tratamento deve ser realizado por meio de projetos específicos. O objetivo final do tratamento dos lixiviados deve incluir o desenvolvimento de tecnologias que reduzam os riscos, os custos de limpeza e o volume dos solos e das águas subterrâneas que permanecem contaminados (VILHENA, 2010).

Em relação à escolha do tipo de tratamento dos lixiviados, não há apenas uma metodologia de tratamento padronizada e disponível para aplicação em todos os

casos. Devem-se levar em consideração os aspectos referentes à disponibilidade de área e de recursos financeiros para a implantação, operação e manutenção do sistema de tratamento escolhido (FLECK, 2003).

O tratamento dos lixiviados deve atender às exigências legais, principalmente em relação à disposição final dos efluentes tratados (VILHENA, 2010).

As principais tecnologias de tratamento dos lixiviados de aterros de resíduos estão citadas resumidamente a seguir.

3.11.1 Tratamentos biológicos

Existem várias tecnologias que empregam os processos biológicos para o tratamento de lixiviados, que são muito eficazes para a redução das altas concentrações de matéria orgânica presentes. Por meio do tratamento biológico ocorre a degradação da matéria orgânica e de outros compostos de difícil degradação de maneira natural. A função dos microrganismos é oxidar esses compostos e transformá-los em substâncias mais simples como gás carbônico (CO_2) e água. Essa biodegradação pode ocorrer em meio aeróbio, cujos produtos finais serão CO_2 e água, ou em meio anaeróbio, com metano e gás carbônico como produtos finais da degradação fermentativa. Todavia o tratamento biológico não elimina a fração não biodegradável. Os compostos inorgânicos podem ser parcialmente removidos da massa líquida durante o processo biológico por sedimentação e após a adsorção pelos microrganismos (VILHENA, 2010).

A seguir estão descritas algumas informações sobre os principais tipos de tratamentos biológicos empregados.

3.11.1.1 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados converte a matéria orgânica biodegradável dos lixiviados em formas inorgânicas mais estáveis. Esse processo é aeróbio (VILHENA, 2010). Porém na presença de substâncias tóxicas, variação da temperatura e pelo pH dos lixiviados o processo de nitrificação pode ser inibido (FERREIRA *et al.*, 2001).

Nos sistemas de lodos ativados tradicionais, após a sedimentação primária, a maioria do material orgânico em estado coloidal e solúvel é metabolizado por vários grupos de microrganismos nos tanques de aeração. Ao final do processo são gerados como produtos: dióxido de carbono, água e nitratos. Concomitantemente, uma fração considerável é convertida em massa celular e é separada da fase líquida pela ação da gravidade no decantador secundário. Grande parte dessa massa retorna ao tanque de aeração e assim a concentração de microrganismos aumenta no sistema. A permanência prolongada desses microrganismos, devido à recirculação dos sólidos sedimentados, garante uma elevada eficiência nos sistemas de lodos ativados (VILHENA, 2010).

O processo de lodos ativados é utilizado como pré-tratamento de processos de osmose reversa ou na sequência de outros tipos de tratamentos (FERREIRA *et al.*, 2001).

Os autores QASIM e CHIANG (1994) após analisarem os resultados reportados de outros pesquisadores a respeito dos sistemas de lodos ativados, levantaram algumas generalizações, dentre elas cita-se:

- Remoções de DBO_5 e de DQO entre 90 e 99% e de metais entre 80 e 99%;
- Aeração excessiva conjuntamente com altas concentrações de metais contribui para a formação de espumas, que podem ser reduzidas utilizando-se aeração mecânica e agente antiespumantes;
- A presença de inibidores e a deficiência de nutrientes podem aumentar o tempo necessário para a bioestabilização do lixiviado.

3.11.1.2 Lagoas Aeradas

As lagoas aeradas são uma variação das lagoas aeróbias em que um sistema mecânico adiciona oxigênio no meio líquido por agitação ou insuflamento, funcionando como reatores biológicos de crescimento suspenso, sem recirculação de lodo; nas mesmas existem vários difusores de ar para a mistura e introdução do oxigênio. Geralmente são construídas com taludes, com profundidade de 2,5 a 5 metros. Nessas lagoas os mecanismos de aeração produzem uma mistura do despejo com os organismos, aumentando a densidade de biomassa, o que resulta na redução do tempo de retenção (VILHENA, 2010).

A escolha pelo sistema de tratamento por lagoas aeradas é influenciada pelos seguintes fatores: disponibilidade de área, fonte de energia elétrica e os custos de implantação e operação. Esse sistema apresenta elevada eficiência, baixo custo de instalação e de manutenção, operação fácil e econômica. Apresenta a vantagem de ser pouco sensível a oscilações de sobrecarga orgânica. Atinge alta eficiência de remoção da DBO, que pode chegar a mais de 90%.

Todavia, de acordo com a potência de aeração instalada, com o passar do tempo, poderá haver uma deposição de sólidos no fundo da lagoa, reduzindo a eficiência do tratamento e necessitando de drenagem ou instalação de um decantador secundário para evitar o elevado teor de sólidos no efluente final (VILHENA, 2010).

Geralmente lagoas aeradas são utilizadas como etapa que antecede a disposição final dos lixiviados em estações de tratamento de esgotos (MAEHLUM *et al.*, 1995). Obtêm-se bons resultados de biodegradação principalmente para lixiviados novos.

No entanto, apesar das lagoas aeradas apresentarem baixos custos podem não ser uma opção de tratamento totalmente satisfatória para os lixiviados. Estudos realizados mostram dificuldades que o sistema de tratamento com lagoas apresentam na remoção dos compostos refratários que causam elevada demanda química de oxigênio (DBO) e na remoção da amônia, levando a altas concentrações

finais dos efluentes que não atendem os parâmetros legais exigidos (CASTILHOS JR. *et al.*, 2009 citados por MARTINS *et al.*, 2010).

3.11.1.3 Filtros Biológicos

Os filtros biológicos ou filtros percoladores são biofiltros aeróbios onde as águas residuárias percolam através de um leito filtrante, cujo material empregado pode ser pedras, areia, argila, carvão ativado ou membranas industrializadas (VILHENA, 2010; FLECK, 2003). Nesses filtros a permeabilidade do meio determina o tempo de contato com os lixiviados. As unidades podem operar contínua ou intermitentemente, de forma que cada porção do leito filtrante seja reoxigenado entre as aplicações contínuas de efluentes (FLECK, 2003).

Os efluentes são lançados por meio de braços rotativos na parte superior do filtro e percolam através do material filtrante, onde são formadas camadas de microrganismos que ficam aderidos ao meio filtrante e degradam parte da matéria orgânica contida nos efluentes (VON SPERLING, 1995).

Segundo FERREIRA *et al.*, (2001), os filtros de casca de árvore podem suprir o consumo de oxigênio na ordem de 200 a 3.000 mg/L de DQO e 50 a 1.000 mg/L de carbono orgânico total dependendo do fluxo e do tempo de residência. E os filtros com concreto triturado podem remover cor dos lixiviados.

De acordo com JOKELA *et al.* (2002), os filtros biológicos têm sido investigados devido à redução do nitrogênio biológico dos lixiviados de aterros municipais e continuam a ser uma opção interessante e atrativa para nitrificação por causa de seus baixos custos médios.

Em aterros da Noruega tem sido utilizados materiais como cascas de árvores, turfas, madeiras e concreto triturados como meio filtrante no tratamento dos lixiviados (FERREIRA *et al.*, 2001).

3.11.1.4 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

De acordo com FLECK (2003), os reatores anaeróbios de fluxo ascendente são as formas anaeróbias mais eficientes de crescimento suspenso, desenvolvidas recentemente para o tratamento de lixiviados.

Essa forma de tratamento apresenta melhor desempenho quando comparado a outros tipos de reatores anaeróbios, necessita de áreas menores, apresenta baixos custos de implantação e relativa simplicidade de operação (RENOU *et al.*, 2008; VILHENA, 2010).

O processo de tratamento ocorre a partir do separador de fases, localizado no reator, onde há uma manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia. Os efluentes entram pelo fundo do reator e em trajetória ascendente passam pela área de digestão, pelo separador de fases e para a zona de separação. Após a mistura do material orgânico dos efluentes com o lodo anaeróbio, ocorre a digestão anaeróbia que resulta na geração de biogás, que é retirado por tubulação específica, e aumento do lodo (VILHENA, 2010).

Os efluentes escoam em sentido ascendente para a parte superior do reator e, à medida que, a sua velocidade diminui, flocos de lodo são depositados na superfície inclinada do separador de fases. Em seguida, massas grandes de sólidos são formadas e quando seu peso torna-se maior do que a força de atrito, essas massas são arrastadas para a zona de digestão, na parte inferior do digestor (VILHENA, 2010).

Assim como ocorre com o sistema de tratamento com lagoas aeradas, o tratamento dos lixiviados por RAFA é insuficiente quando empregado de maneira isolada, pois o resultado final são cargas remanescentes elevadas, não atendendo às exigências legais.

3.11.2 Recirculação dos Lixiviados

A recirculação dos lixiviados consiste na sua aplicação na área do aterro, de maneira que os mesmos percolem na zona não saturada da massa de resíduos e por fim alcance a zona saturada. Vários autores recomendam esse processo devido a vantagens como: a aceleração da degradação dos resíduos, uma vez que os lixiviados contêm elevadas concentrações de nutrientes e microrganismos aclimatados no meio de biodigestão dos resíduos e seus compostos inibidores (FLECK, 2003).

Essa técnica abranda as elevadas concentrações de DBO e DQO e combina o pré-tratamento anaeróbio no interior do aterro com a evaporação que ocorre a cada recirculação dos lixiviados (VILHENA, 2010).

Alguns autores afirmam que o aterro sanitário funciona como um grande reator anaeróbio (não controlado) e a recirculação do chorume aumenta seu tempo dentro do reator (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993; McBEAN *et al.*, 1995, citados por FERREIRA, *et al.*, 2001), propiciando o desenvolvimento da população de bactérias anaeróbias ativas e produtoras de gás metano (VILHENA, 2010).

Essa forma de tratamento propicia vantagens como a melhoria da qualidade dos lixiviados, a redução do tempo necessário para a estabilização da matéria orgânica presente nos resíduos, de décadas para cerca de dois a três anos (REINHART e AL-YOUSFI, 1996), assim como a diminuição do volume dos lixiviados devido à evapotranspiração e a redução dos custos envolvidos no seu tratamento.

O emprego da recirculação do chorume como forma de tratamento apresenta algumas desvantagens, como:

- Acúmulo de líquidos nas zonas semi-impermeáveis dos maciços do aterro;
- Instabilidades geotécnicas e problemas na drenagem do biogás (COSSU, 2001 citado por FLECK, 2003);
- Dano da camada impermeabilizante na base do aterro;

- Ocorrência de arrastes de substâncias nos líquidos recirculados, causando o aumento da concentração de sais e de metais pesados nos lixiviados;
- Problemas referentes a odores (VILHENA, 2010; FERREIRA, 2000).

Atualmente a recirculação dos lixiviados não é mais permitida como forma de tratamento dos lixiviados nas etapas dos processos de licenciamento ambiental realizados no Estado de São Paulo pela CETESB.

3.11.3 Tratamento Consorciado com Esgotos Sanitários

O tratamento consorciado dos lixiviados, em conjunto com os esgotos sanitários em estações de tratamento do sistema público de esgotos, é uma prática empregada amplamente pelo mundo. FLECK (2003) menciona que o tratamento dos lixiviados nos próprios locais de disposição final de resíduos implica em elevados custos de operação e manutenção, ressaltando também a vantagem em relação à tratabilidade pela diluição dos lixiviados e a redução da concentração das espécies inibidoras dos tratamentos biológicos observada no tratamento consorciado.

Essa forma de tratamento dos lixiviados provenientes de aterros sanitários é uma alternativa de tratamento externo direto que ocorre nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). A mesma apresenta vantagens em relação aos custos operacionais, principalmente se a planta de tratamento for próxima do aterro (MC BEAN *et al.*, 1995). A decisão pelo tratamento dos lixiviados em conjunto com os esgotos sanitários requer a avaliação de itens como os citados a seguir, apontados por BOCCHGLIERI (2010):

- As oscilações de vazão da geração de lixiviados de aterros e a variações de sua composição ao longo do tempo;

- As exigências legais referentes à qualidade dos corpos d'água e os limites de lançamento ou emissões;
- Os custos envolvidos: operacionais, de manutenção, de transporte;
- Os impactos do acréscimo de carga proveniente dos lixiviados;

O principal elemento que determina a possibilidade do tratamento dos lixiviados em conjunto com os esgotos sanitários é o controle do volume dos mesmos. A proporção de lixiviados deve ser pequena em relação à vazão total de esgoto a ser tratado. Há um limite de volume de lixiviado afluente que pode ser adicionado sem que haja perturbações no tratamento dos esgotos em andamento (MC BEAN *et al.*, 1995).

Para que ocorra o tratamento conjunto dos lixiviados com os esgotos municipais, as estações de tratamento devem apresentar “folga”, isto é, capacidade disponível para o recebimento das cargas dos lixiviados de aterros que possuem elevadas concentrações de componentes químicos orgânicos e inorgânicos (QASIN e CHIANG, 1994).

Na literatura encontram-se estudos publicados com valores experimentais da proporção de esgoto para lixiviados para o tratamento conjunto, como por exemplo, DIAMADOPOULOS *et al.* (1997) citados por RENOU *et al.* (2008), que pesquisaram o tratamento combinado utilizando um Reator Sequencial por Batelada. Quando a proporção encontrada para a relação esgoto/ lixiviado foi de 9 para 1, ocorreu redução de 95% da DBO, 50% de remoção de nitrogênio ao final do ciclo diário, bem como remoção de DQO e de nitrogênio amoniacal (AHN *et al.*, 2002 citados por RENOU, 2008).

Mesmo que sejam observadas reduções de DBO, DQO e de metais pesados nas proporções de lixiviados tratados de maneira eficaz, haverá influências da conversão da amônia, da temperatura, produção de lodo, de espuma, baixa sedimentabilidade de sólidos, e da acumulação de metais pesados. Existem muitas incertezas na literatura com relação à eficiência das estações que realizam o tratamento conjunto dos lixiviados com os esgotos sanitários (BOCCHIGLIERI, 2010).

3.11.4 Tratamentos Físico-químicos

Segundo FLECK (2003), os tratamentos físico-químicos baseiam-se na remoção de poluentes pelo contato com os meios físicos, por meio da ação de forças de caráter físico ou químico, bem como por retenção mecânica ou por meio de alterações nas características das águas residuárias devido à adição de produtos químicos.

Os tratamentos físico-químicos são frequentemente empregados em combinação com o pré-tratamento ou tratamento de algum poluente específico. Suas principais funções são: redução dos sólidos suspensos, das partículas coloidais, do material flutuante, da cor e dos compostos tóxicos (RENOU *et al.*, 2008).

De acordo com RENOU *et al.* (2008), durante muitos anos os tratamentos biológicos convencionais e os clássicos físico-químicos têm sido considerados as tecnologias mais apropriadas para manipulação e gerenciamento de efluentes de alta resistência, como os lixiviados de aterros sanitários.

A integração dos processos físico-químico-biológicos potencializa o tratamento dos efluentes e elimina as complicações da aplicação individualizada dos mesmos, contribuindo para uma melhor eficácia do tratamento como um todo (RENOU *et al.*, 2008).

As principais técnicas utilizadas nos tratamentos físico-químicos foram descritas resumidamente a seguir.

3.11.4.1 Coagulação, Floculação, Precipitação e Sedimentação

Os processos de coagulação, floculação, precipitação e sedimentação podem ser considerados como um conjunto integrado para remoção dos sólidos suspensos coloidais e dissolvidos nas águas residuárias. A coagulação e a floculação são operações que propiciam a aglomeração de partículas muito pequenas e a formação de coágulos ou flocos maiores, propiciando a decantação. A precipitação de sólidos dissolvidos é um processo físico-químico que ocorre a partir da adição de compostos que diminuem a sua solubilidade no líquido, retirando-os da solução. A sedimentação constitui-se num processo físico que ocorre mediante a gravidade que age sobre as partículas superficiais ou dispersas pelo meio líquido, aglomerando-as para serem posteriormente removidas (VILHENA, 2010; FLECK, 2003).

Alguns dos coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cloreto férrico e o sulfato-cloro férrico (EHRIG, 1984 e AMOKRANE *et al.*, 1997).

Biofloculantes têm sido utilizados em pesquisas a fim de verificar a eficiência da remoção de ácidos húmicos comparando-se com a aplicação de coagulantes inorgânicos tradicionais. Essa forma revelou ser uma alternativa viável a partir da aplicação de 20 mg L^{-1} de biofloculante, essa dosagem mostrou-se suficiente para a remoção de mais de 85% de ácidos húmicos (ZOUBOULIS *et al.*, 2004 citados por RENOU *et al.*, 2008).

Em relação à escolha dos coagulantes mais adequados, uma síntese de trabalhos recentes mostrou que os sais de ferro, que atingem reduções de até 50% da DQO, são mais eficientes que os sais de alumínio ou adição de cal, que atingem valores entre 10 e 40% de remoção (RENOU *et al.*, 2008).

Todavia, este tratamento apresenta algumas desvantagens como, a produção de volume consistente de lodo, e aumento da concentração de alumínio ou de ferro, na fase líquida (DI PALMA *et al.*, 2002).

3.11.4.2 Flotação

Essa técnica tem sido utilizada por muitos anos, principalmente voltada à redução de coloides, íons, macromoléculas, microrganismos e fibras (RUBIO *et al.*, 2002 citados por RENOUE *et al.*, 2008).

Ultimamente poucos estudos têm sido realizados com a aplicação da flotação para tratamento dos lixiviados (RENOUE *et al.*, 2008).

ZOUBOULIS *et al.* (2003) citados por RENOUE *et al.* (2008), recentemente pesquisaram a utilização da flotação em coluna numa fase de pós-tratamento para a remoção de ácidos húmicos residuais (compostos não biodegradáveis) dos lixiviados de aterros experimentais. Sob condições otimizadas obteve-se quase 60% de remoção de ácidos húmicos.

De acordo com HARRIS *et al.* (2000) citados por FLECK (2003), esta técnica apresenta vantagens como, remoção de sólidos pouco sedimentáveis e remoção de óleos e graxas; e desvantagens como, elevada demanda energética, geração de odores e geração de lodo.

3.11.4.3 Oxidação Química

No tratamento de efluentes os processos de oxidação química visam, por meio da adição de certos compostos, tornar os poluentes insolúveis, gaseificá-los ou transformá-los em produtos inócuos, além de oxidar a matéria orgânica e outros compostos geradores de demanda de oxigênio (FLECK, 2003).

De acordo com FERREIRA *et al.* (2001), os processos oxidativos podem ser considerados tecnologias limpas, uma vez que, não ocorre a formação de subprodutos sólidos, como o lodo e também não há transferência de fase dos

poluentes, como a adsorção em carvão ativado e os produtos finais são dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O).

Segundo HARRIS *et al.* (2000) citados por FLECK (2003), a oxidação química apresenta vantagens como, existência de vários oxidantes disponíveis e remoção de amônia; e desvantagens como, custos elevados, possibilidade de dependência de controle do pH, uso de catalizadores e geração de lodo (no caso de oxidação parcial).

De acordo com RENO (2003), recentemente tem havido um crescente interesse no emprego dos Processos Oxidativos Avançados (POA). A maioria desses processos combina oxidantes fortes como: ozônio (O_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radiação e ultravioleta (UV).

No entanto, os POA apresentam alguns inconvenientes como a alta demanda por energia elétrica para os dispositivos como: ozonizadores, lâmpadas UV, ultrassom, o que reflete em custos de tratamento muito elevados (LOPEZ *et al.*, 2004 citados por RENO *et al.*, 2008). Assim, para que ocorra a degradação completa (mineralização) dos poluentes, são necessárias doses elevadas de oxidantes tornando o processo de tratamento financeiramente inviável. Segundo estudos de SILVA *et al.* (2004) citados por RENO (2008), foram aplicadas elevadas doses de ozônio (até $3,0 \text{ gL}^{-1}$) para atingir uma redução significativa da toxicidade. Além disso, alguns produtos intermediários da oxidação podem, na verdade, aumentar a toxicidade dos lixiviados.

3.11.4.4 Stripping de Amônia

Dentre as tecnologias para tratamento de efluentes, atualmente o *stripping* de amônia ou remoção de amônia é o método mais comum utilizado para remoção das elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+ -\text{N}$) dos lixiviados (MARTTINEN *et al.*, 2002).

Uma das questões fundamentais referentes ao tratamento dos lixiviados é a presença das altas cargas de nitrogênio nesses efluentes. Além de apresentar elevadas demandas de oxigênio nas formas orgânicas e amoniacal e ainda gerar condições propícias à eutrofização do corpo receptor (FLECK, 2003).

O *stripping* de amônia é um processo físico que consiste em remover a fase gasosa do líquido, principalmente devido ao aumento da superfície total de contato da fase líquida com o meio atmosférico ao redor, de modo que efeitos de arraste e difusão molecular promovam a sua passagem para a atmosfera. Esse processo é favorecido pela elevação da temperatura, uma vez que aumenta a pressão parcial de vapor da amônia. O processo de remoção da amônia é geralmente precedido pela adição de álcalis, a fim de elevar o pH do meio líquido e gerar altas concentrações relativas de amônia na forma gasosa (FLECK, 2003).

Um fator que requer atenção em relação à remoção de amônia é a sua liberação na atmosfera, provocando uma grave poluição do ar se a amônia não for adequadamente absorvida com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl).

O processo de remoção de amônia apresenta algumas desvantagens, como a descamação do carbonato de cálcio da torre, onde cal é utilizada para ajustar o pH, e o problema de formação de espuma o que requer a utilização de uma grande torre de extração (LI *et al.*, 1999).

De acordo com RENOU *et al.* (2008), com o aumento contínuo das exigências em relação aos padrões de lançamento de efluentes na maioria dos países, com o envelhecimento dos aterros e a quantidade cada vez maior dos volumes de lixiviados estabilizados fazem com que os tratamentos convencionais não sejam mais suficientes para alcançar o nível de purificação necessária para reduzir drasticamente os impactos negativos causados pelos lixiviados ao meio ambiente. Dessa forma, torna-se necessária a aplicação de outras formas de tratamento. Por isso, nos últimos vinte anos surgiram tratamentos mais eficazes baseados nas tecnologias com membranas como alternativas para cumprir as exigências de qualidade da água na maioria dos países.

3.11.5 Processos de Separação Com Membranas

Os processos de tratamento de efluentes com membranas baseiam-se na passagem dos lixiviados por um meio filtrante semipermeável, de forma que os poluentes fiquem retidos e seja produzido um permeado de melhor qualidade (FLECK, 2003).

No processo de tratamento dos lixiviados, as membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros são empregadas de acordo com o tipo de solutos e da presença de partículas em suspensão. Os processos de separação por membranas podem ser compreendidos como extensão do processo de filtração convencional. As formas conhecidas são: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, que utilizam nesta mesma ordem meios filtrantes cada vez mais fechados, isto é, poros cada vez menores (FERREIRA *et al.*, 2001).

Os principais processos de tratamento com membranas estão descritos resumidamente a seguir:

3.11.5.1 Microfiltração

A microfiltração é um método eficaz na remoção de coloides e materiais em suspensão ($>1\mu$), pode ser utilizado no pré-tratamento com outros processos com membranas (como, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) ou para ser aplicado em conjunto com tratamentos químicos. Porém, esse método não pode ser aplicado sozinho (RENOU *et al.*, 2008).

Em um estudo polonês foi relatada a utilização da microfiltração na fase de pré-filtração, porém a taxa de retenção obtida não foi significativa, alcançando-se redução de DQO dos lixiviados entre 25 e 35% (PIATKIEWICZ *et al.*, 2001 citados por RENOU *et al.*, 2008).

3.11.5.2 Ultrafiltração

De acordo com RENO *et al.*, (2008), o processo de ultrafiltração é aplicado para a remoção de macromoléculas e de partículas, mas depende diretamente do material que compõe a membrana. A ultrafiltração pode ser utilizada como ferramenta para fracionar a matéria orgânica a fim de analisar a massa molecular preponderante dos poluentes orgânicos presentes nos lixiviados. Testes realizados com membranas permeáveis podem fornecer informações sobre toxicidade e recalcitrância (Refere-se à dificuldade ou impossibilidade de degradação de certas substâncias químicas na natureza, SILVA, 2002) das frações dos lixiviados permeados.

De acordo com SCHNEIDER e TSUTIYA (2001) citados por SILVA (2002) as membranas de microfiltração e ultrafiltração são muito eficientes na remoção do material orgânico responsável pela turbidez. Além de remover contaminantes biológicos, essas membranas removem também contaminantes com substâncias ou partículas não biológicas como:

- Carbono orgânico dissolvido de baixa massa molar;
- Substâncias solúveis que dão cor (inaceitáveis para os padrões de consumo);
- Toxinas solúveis de algas;
- Metais pesados reduzidos como o manganês e o ferro;

3.11.5.3 Nanofiltração

A nanofiltração (NF) é uma tecnologia que pode atender múltiplos objetivos de qualidade da água, tais como: o controle de contaminantes orgânicos, inorgânicos, e microbianos (RENOU *et al.*, 2008). As membranas para NF são geralmente produzidas de filmes poliméricos com diâmetro dos poros da membrana na ordem de 0,001 μm (DIAS, 2006).

De acordo com TREBOUET (2001), para que a aplicação da tecnologia com membranas seja eficiente é necessário um controle eficiente da contaminação das mesmas. Vários componentes podem contribuir na formação de incrustações das membranas na nanofiltração dos lixiviados como, substâncias dissolvidas orgânicas e inorgânicas, partículas coloidais e em suspensão.

Estudos realizados por MARTTINEN *et al.* (2002), mostraram que o tipo de membrana influencia significativamente a separação dos compostos orgânicos e nos parâmetros operacionais. A combinação do pré-tratamento biológico com a nanofiltração resultou na remoção de 90% da DQO e de 27 a 50% do nitrogênio amoniacal, resultados mais elevados do que era esperado, pois a remoção de sais de amônia do chorume por nanofiltração depende de sua complexidade. A nanofiltração requer menor pressão quando comparada com a osmose reversa, menor custo de operação e causa menos entupimentos nas membranas.

De acordo com alguns autores, poucos estudos mencionam o uso da NF para tratamento dos lixiviados de aterros sanitários (MARTTINEN *et al.*, 2002; RENOU *et al.*, 2008).

3.11.5.4 Osmose reversa

De acordo com vários autores a osmose reversa constitui o método mais promissor e eficiente dentre as novas formas de tratamento dos lixiviados (LINDE *et al.*, 1995; BILSTAD e MADLAND, 1992 citados por RENOU *et al.*, 2008).

A osmose reversa aplicada no tratamento de efluentes consiste na passagem dos lixiviados concentrados através de uma membrana semipermeável para uma solução menos concentrada, a partir da aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica natural. Dessa forma os sais e poluentes ficam retidos na membrana, restando apenas um permeado de alta qualidade e uma solução salina concentrada que requer tratamento adequado (FLECK, 2003).

Vários estudos têm mostrado a eficiência da aplicação da osmose reversa para o tratamento dos lixiviados associada ao pré-tratamento físico-químico ou com outros processos de separação por membranas.

De acordo com o estudo realizado por AMOKRANE *et al.* (1997), verificou-se a remoção de 95% da DBO e dos sólidos totais dissolvidos com a aplicação da osmose reversa para lixiviados pré-tratados por microfiltração e ultrafiltração.

Todavia, há duas questões principais que permanecem como barreiras para a implementação dos processos de separação com membranas, particularmente da osmose reversa, para tratamento dos lixiviados de aterros. Uma delas refere-se à formação de incrustações da membrana, que exigem pré-tratamentos intensivos ou a limpeza química das membranas, o que resulta na redução do seu tempo de vida útil e na diminuição da produtividade do processo. Outra questão refere-se à geração de grande volume de concentrado, que não pode ser utilizado e deve ser tratado. Além disso, os custos da osmose reversa são elevados, o que dificulta sua implantação (RAUTENBACH *et al.*, 2000; VILHENA, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa quali-quantitativa e foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica e documental referente aos: (i) volumes dos lixiviados gerados nos locais de disposição final de resíduos sólidos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e enviados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários do sistema público; (ii) dados de precipitação pluviométrica nos municípios onde estão localizados os locais selecionados; (iii) locais selecionados nesse estudo; e (iv) condições ambientais e sanitárias dos aterros da RMSP.

A pesquisa engloba os locais de disposição final de resíduos sólidos em operação e encerrados da RMSP e abrange o período de 1998 a 2012.

Ressalta-se que os lixões não foram contemplados nesse estudo, pois não há informações confiáveis sobre os mesmos, havendo escassez de dados e falta de rastreabilidade quanto à identificação das fontes de informação.

O levantamento dos dados e das informações foi realizado principalmente junto às instituições responsáveis pelo sistema público de tratamento de esgotos, pelo controle, recebimento e tratamento dos lixiviados e pela fiscalização, licenciamento ambiental e o acompanhamento dos locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) no estado de São Paulo.

As estimativas das demandas futuras de tratamento dos lixiviados provenientes dos aterros sanitários foram realizadas a partir dos dados da série histórica dos volumes de lixiviados gerados nos aterros sanitários e das linhas de tendência referentes aos próximas décadas.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA DE ESTUDO

Para a realização desse estudo foram considerados oito aterros sanitários que serviram como locais de disposição final de resíduos sólidos os municípios da Região Metropolitana de São Paulo no período de 1998 a 2012.

A opção por restringir os estudos à RMSP foi feita em função da existência de inúmeros aterros sanitários localizados em seus municípios. Destaca-se que a maioria desses aterros encaminham os lixiviados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários nas estações do sistema público de esgotos operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que possui dados históricos sobre o recebimento desses lixiviados, constituindo assim, uma importante fonte de informações para esse estudo.

No desenvolvimento dessa pesquisa foram encontradas dificuldades na obtenção de alguns dados históricos, como os dados de precipitação pluviométrica e dos aterros sanitários estudados, principalmente em relação ao tamanho oficial de suas áreas, uma vez que, ao longo dos anos a maioria deles passa por ampliações.

Observou-se que a visão e a prática do gerenciamento de resíduos sólidos, mesmo na RMSP, ainda se restringe à ênfase no aterramento dos resíduos. Não há uma preocupação maior com melhorias na coleta, com o tratamento dos resíduos e dos lixiviados, nem com a elaboração de um planejamento que considere outras alternativas de tratamento com sistemas que comportem o tratamento desses efluentes em longo prazo.

4.1.1 A Região Metropolitana de São Paulo

A “Região Metropolitana da Grande São Paulo”, instituída pela Lei Complementar Federal nº 14 de 8 de junho de 1973, e disciplinada pela Lei Complementar Estadual nº 94 de 29 de maio de 1974, passou a ter sua denominação alterada para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) pela Lei Complementar Estadual n.º 1.139, de Junho de 2011 (SÃO PAULO, 2011). A instituição da referida lei teve sua relevância, pois em meados da década de 1970 a população residente na região, na época já era cerca de 9 milhões de habitantes e a extensão superficial na ordem de 2.700 km².

A Região Metropolitana de São Paulo localizada na região sudeste do estado de São Paulo, é composta pela capital do Estado mais trinta e oito municípios (ver Figura 14).

Figura 14 - Destaque da Região Metropolitana de SP no estado de São Paulo

Fonte: WIKIPEDIA, [s.d.]

A organização da Região Metropolitana de São Paulo (ver Figura 15) teve por objetivo promover o planejamento regional para o desenvolvimento socioeconômico,

de modo que as decisões deveriam ultrapassar os limites municipais; bem como a melhoria da qualidade de vida, a colaboração entre os diferentes níveis de governo, o uso racional do território, dos recursos naturais e culturais e a proteção do meio ambiente, por meio do controle da implantação dos empreendimentos públicos e privados na região.

Figura 15 - Municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: Centro de Estudos da Metrópole (CEM/ CEBRAP), 2008.

De acordo com a Lei Complementar nº 1.139/2011 os trinta e nove municípios da RMSP foram agrupados em cinco sub-regiões (ver Tabela 4 e Figura 16): Norte, Leste, Sudeste, Sudoeste e Oeste, sendo que o município de São Paulo integra as cinco sub-regiões (SÃO PAULO, 2011).

Na mesma lei citada anteriormente, no 3º parágrafo do 4º Artigo afirma-se que cabe ao Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de São Paulo, instituído pelo artigo 5º dessa lei complementar, estabelecer em regimento próprio às normas relativas ao processo de organização e funcionamento das sub-regiões da RMSP.

Tabela 4 – Municípios das sub-regiões da Região Metropolitana de São Paulo

Norte	Leste	Oeste	Sudoeste	Sudeste
Cajamar	Arujá	Barueri	Cotia	Diadema
Caieiras	Biritiba Mirim	Carapicuíba	Embu das Artes	Mauá
Franco da Rocha	Ferraz de Vasconcelos	Itapevi	Embu-Guaçu	Ribeirão Pires
Francisco Morato	Guararema	Jandira	Itapeverica da Serra	Rio Grande da Serra
Mairiporã	Guarulhos	Osasco	Juquitiba	Santo André
	Itaquaquecetuba	Pirapora do Bom Jesus	São Lourenço da Serra	São Bernardo do Campo
	Mogi das Cruzes	Santana de Parnaíba	Taboão da Serra	São Caetano do Sul
	Poá		Vargem Grande Paulista	
	Salesópolis			
	Santa Isabel			
	Suzano			
Município integrador da RMSP: São Paulo				

Fonte: Adaptado de Lei complementar 1.139/ 2011, SÃO PAULO, 2011.

Figura 16 - Sub-regiões da Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: AGENDE – Agenda de Desenvolvimento de Guarulhos (ROIZ, [s.d.]).

Dos trinta e nove municípios que compõem a RMSP, trinta e quatro estão localizados na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 6 Alto Tietê, e os outros quatro municípios pertencem a outras UGRHIs e são: Guararema e Santa Isabel (UGRHI 2), Juquitiba e São Lourenço da Serra (UGRHI 11) e Vargem Grande Paulista (UGRHI 10).

A RMSP é uma das maiores regiões metropolitanas do mundo, com população total estimada em 19.956.590 habitantes, correspondendo a cerca de 50% da população total do estado de São Paulo (IBGE, 2012).

Por ser uma região onde há elevada concentração populacional, a RMSP apresenta características semelhantes aos grandes aglomerados urbanos do mundo inteiro, tais como a quantidade elevada de congestionamentos, o fluxo intenso de pessoas,

os altos níveis de poluição das águas, do solo, do ar, visual, sonora, elevados padrões de produção e consumo de bens duráveis ou não, e consequentemente, grande geração de resíduos sólidos e necessidade de alternativas e locais adequados para a disposição e tratamento dos mesmos.

4.2 LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

O levantamento dos locais de disposição final de resíduos sólidos que receberam os resíduos sólidos urbanos dos municípios da RMSP foi realizado a partir dos dados dos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Domiciliares elaborados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), cuja publicação anual foi estabelecida pela Resolução SMA 13, de 27 de fevereiro de 1998 (SÃO PAULO, 1998). Tais inventários fornecem informações sobre os sistemas de disposição final e de tratamento dos resíduos com as condições sanitárias e ambientais dos 645 municípios do Estado de São Paulo e são elaborados desde o ano de 1997, tendo sido disponibilizados para consulta via internet a partir de 2003.

Para a elaboração dos inventários, os técnicos da CETESB inspecionam os locais de disposição final de resíduos e realizam o levantamento de suas principais características locais, estruturais e operacionais com o auxílio de um formulário padronizado (ver Anexos A e B) aplicado para obter as informações dos aterros em operação localizados nos municípios do estado de São Paulo.

O referido questionário avalia atualmente trinta e quatro itens que recebem pesos, que após serem apurados expressam as condições ambientais de cada local de disposição final de resíduos na forma de índice, que leva em consideração a situação encontrada no local a partir de inspeções técnicas.

Em relação à avaliação das condições dos locais de disposição dos resíduos, foram estabelecidos três índices: Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), que a

partir de 2012 mudou para IQR - Nova proposta; Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos em Valas (IQR – Valas) e o Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem (IQC), todos recebem notas com variação de 0 a 10 pontos. Os locais de disposição de RSU são classificados de acordo com suas condições ambientais. De acordo com o escopo desse estudo será abordado apenas o Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR e IQR – Nova Proposta).

Até o ano de 2011 tais locais eram classificados em: Inadequado – I (de 0,0 a 6,0), Controlado – C (6,1 a 8,0) e Adequado – A (de 8,1 a 10,0).

A partir do ano de 2012, de acordo com as definições das Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos o relatório anual passou a ser intitulado de “Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos” e os locais de disposição de resíduos passaram a ser classificados em: Inadequado – I (de 0,0 a 7,0) e Adequado – A (de 7,1 a 10,0).

A partir da consulta a esses questionários, foi realizado um levantamento da localização dos locais de disposição de resíduos em função de seus endereços, que foram utilizados como um parâmetro de pesquisa acompanhado ano a ano, para cada um dos municípios da RMSP. A constatação de uma mudança de endereço do local foi o indicador do encerramento dos aterros, condição esta que foi confirmada por meio de consulta à CETESB.

Dessa forma, foi realizado o levantamento dos aterros e sua situação de funcionamento, em operação e encerrados, no período de abrangência desse estudo, de 1998 a 2012.

Foram utilizados os dados dos Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos, sendo que foi contabilizado um total de dezenove locais de disposição final de resíduos (listados no item 5.1 à página 115), referentes ao período desse estudo. Apenas os locais de disposição final de resíduos com os endereços cadastrados de maneira completa, coerente, com a confirmação das informações e com os dados de destinação dos volumes dos lixiviados foram considerados.

Em relação aos questionários padronizados, o campo onde encontra-se o dado de localização, que apresenta o endereço do local, recebeu nomes com variações para o mesmo aterro ao longo dos anos e para os diferentes municípios, que porventura destinaram seus resíduos para o mesmo local. Dessa maneira, foi necessário

realizar a unificação ou padronização dos endereços dos aterros informados nos questionários. Houve casos em que o endereço do aterro informado, na verdade referia-se ao endereço da Prefeitura do município e não ao local de disposição de resíduos.

Em relação à série histórica com as informações de localização e das condições ambientais (de infraestrutura e operacionais) dos aterros, obtidas a partir dos questionários padronizados, houve uma lacuna dos dados referentes aos anos de 2001 e 2002, por isso em compilações realizadas nesse estudo, as informações referentes a esses dois anos não aparecem.

4.2.1 Condições Ambientais dos Locais de Disposição Final de Resíduos Sólidos Estudados

Foi realizada a compilação dos valores do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) dos aterros dos municípios de Caieiras, Guarulhos e de São Paulo, selecionados nesse estudo.

No caso do município de São Paulo, que encaminhou seus resíduos para mais de um aterro no período de 1998 a 2012, foram levantados os valores do IQR de cada um desses aterros.

4.3 SELEÇÃO DOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS ESTUDADOS

Foi realizado o levantamento dos locais de disposição final de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo de acordo com os seguintes critérios: (i) locais cadastrados na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e (ii) que enviaram os lixiviados gerados para tratamento conjunto no sistema público de esgotos. Dessa forma, foram identificados 19 locais que se enquadravam nos critérios citados. Porém, dos dezenove locais somente oito apresentaram dados consistentes para compor a série histórica com informações de localização dos aterros e os volumes dos lixiviados.

Dentre os oito aterros selecionados neste estudo, quatro encontram-se em operação e quatro foram encerrados; seis aterros estão localizados no município de São Paulo e os outros dois estão nos municípios de Caieiras e Guarulhos (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Locais de disposição de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo selecionados

Locais	Período de operação	Municípios	Situação
Santo Amaro	1976-1995	São Paulo	Encerrado
Vila Albertina	1977-1993	São Paulo	Encerrado
Bandeirantes	1979-2007	São Paulo	Encerrado
Sítio São João	1992-2009	São Paulo	Encerrado
CDR Pedreira	2000 - presente	São Paulo	Operação
Guarulhos	2001 - presente	Guarulhos	Operação
CTR Caieiras (Essencis)	2002 - presente	Caieiras	Operação
CTL Floresta	2010 - presente	São Paulo	Operação

A seguir estão descritas resumidamente as informações de cada aterro selecionado para este estudo.

4.3.1 Área de disposição final de resíduos Santo Amaro

A área de disposição final de resíduos Santo Amaro (ver Figura 17) localiza-se na zona sul do município de São Paulo. Esse local começou a operação em 1976, passou por processo de recuperação no fim de sua vida útil e foi encerrado em 1995. No início de suas atividades não havia o adensamento urbano próximo ao local como existe atualmente.

Figura 17 - Imagem aérea do local de disposição de resíduos de Santo Amaro

Fonte: EcoUrbis, [s.d.].

A capacidade total prevista para a área de disposição final de resíduos de Santo Amaro era de 16.216.747 toneladas em uma área de 304.000 m². Esse local de

disposição de resíduos encerrado recebe serviços de manutenção, foi projetado para utilizar o menor espaço e foi verticalizado (DE LEO, 2006).

Atualmente na área funciona a Estação de transbordo Santo Amaro, uma das três estações em operação no município de São Paulo, (PMSP, 2014c).

4.3.2 Área de disposição final de resíduos Vila Albertina

O local de disposição final de resíduos Vila Albertina localiza-se no distrito de Tremembé, na zona norte do município de São Paulo junto a Serra da Cantareira (ver Figura 18). O local iniciou suas atividades em 1977 dispondo resíduos domiciliares diretamente sobre um maciço rochoso de uma antiga cava de pedreira e passou por recuperação ambiental. O aterro teve um tempo de vida útil de dezesseis anos e foi encerrado em 1993.

Figura 18 - Imagem da área de disposição final de resíduos Vila Albertina

Fonte: Loga, [s.d.].

No local de disposição final de resíduos Vila Albertina atualmente são efetuadas atividades de monitoramento geotécnico e ambiental com as quais são realizadas medidas mensais dos marcos superficiais de deslocamentos horizontais e verticais, leituras quinzenais dos níveis piezométricos e das pressões de gás, análise do comportamento deformacional e das condições de estabilidade do maciço (DE JORGE *et al.*, 2004).

Além disso, são verificadas as características físico-químicas dos lixiviados, em relação ao seu potencial poluidor, e as condições de qualidade das águas subterrâneas por meio da coleta de amostras de água dos poços de monitoramento (DE JORGE *et al.*, 2004).

A área de disposição final de resíduos Vila Albertina continua a gerar grandes volumes de lixiviados, mesmo tendo sido encerrada há mais de vinte anos. Os lixiviados gerados são encaminhados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários municipais.

4.3.3 Aterro Sanitário Bandeirantes

O Aterro Sanitário Bandeirantes localiza-se na região noroeste do município de São Paulo no distrito de Perus (ver Figura 19). O aterro teve suas atividades iniciadas no ano de 1979 e foi encerrado no ano de 2007.

Figura 19 - Imagem do aterro Bandeirantes

Fonte: Loga, [s/d].

Na época em que a área do referido aterro foi escolhida, seu entorno não era ocupado por assentamentos residenciais ou outros equipamentos urbanos. Após a implantação do aterro iniciou-se uma ocupação intensa ao redor da gleba utilizada na época, principalmente junto ao distrito de Perus.

O aterro Bandeirantes foi subdividido em cinco sub-aterros, denominados AS-1, AS-2, AS-3, AS-4 e AS-5, sendo que, o sub-aterro AS-2 foi encerrado em 1994 e os aterros AS-1 e AS-3 em 1995.

A área total do aterro é de cerca de 1.350.000 m² (COSTA JUNIOR *et al*, 2012), sendo que, as áreas destinadas à disposição de resíduos nos subaterros mais recentes são: AS3 (1995): 123.470 m², AS4/ AS5 (2005/ 2006): 527.180 m² (CEPOLLINA, 2007).

A maior parte dos resíduos dispostos no aterro é constituída principalmente por resíduos sólidos orgânicos, provenientes da coleta de RSU do município de São Paulo. Há também resíduos industriais classes II e III (MMA, 2002), outros resíduos como os lodos das estações de tratamento de esgoto, Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) tratados, entulho sujo, madeira, escórias da construção civil e resíduos de poda e de varrição.

A quantidade total de resíduos dispostos no aterro Bandeirantes durante todo seu período de operação (1979 - 2006) foi cerca de 37,5 milhões de toneladas (CEPOLLINA, 2007).

Em relação aos lixiviados provenientes do aterro Bandeirantes, em 1998 foram gerados cerca de 1.200 m³ por dia. Os lixiviados eram drenados para as lagoas de acumulação e depois encaminhados para tratamento com os esgotos sanitários municipais (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998).

No plano de encerramento do aterro Bandeirantes constam as medidas necessárias na fase após o encerramento das atividades do aterro e as exigências estabelecidas na NBR 13.896/ 97 (CEPOLLINA, 2007), como:

- a.) Manutenção e drenagem das células encerradas
- b.) Manutenção do sistema de drenagem das águas superficiais
- c.) Manutenção do sistema de drenagem e transporte dos lixiviados
- d.) Manutenção do sistema de drenagem de gases

- e.) Manutenção e conservação das vias de acesso internas
- f.) Manutenção da cobertura final
- g.) Manutenção das instalações de apoio, como limpeza, pintura, sistemas hidráulico e elétrico.
- h.) Manutenção da vigilância

A respeito do uso futuro da área do aterro Bandeirantes, conforme previsto no Plano Diretor do município de São Paulo, a área do aterro será designada para a implantação de um parque municipal. Isso ocorrerá somente após serem constatadas condições geotécnicas e ambientais favoráveis, verificadas pelos monitoramentos no local durante o período de tempo necessário, poderá haver liberação do local para uso público, desde que não ofereça nenhum tipo de risco aos usuários (CEPOLLINA, 2007).

4.3.4 Aterro Sanitário Sítio São João

O Aterro Sanitário Sítio São João localiza-se na região sudeste do município de São Paulo (ver Figura 20), iniciou a operação em 1993 em uma área onde existia um denso maciço florestal de mata nativa (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998).

Figura 20 - Imagem aérea do aterro São João

Fonte: Portal Gás Net, 2008.

Segundo os dados de projeto, a área ocupada pelo aterro é de aproximadamente 270.000 m² e a superfície total abrange 1.020.000m² (UMAH, 1990).

A estimativa de vida útil inicial do aterro no projeto era de cerca de 8 anos, porém por meio de solicitações de ampliações e readequações da área disponível para a disposição de resíduos e da obtenção de licenciamento, o tempo de vida útil total do aterro foi de dezessete anos, sendo encerrado em 2009 (UMAH, 1990).

Para sua implantação foi necessária a supressão de 600.000 m² de mata nativa. Como medida compensatória foi exigido do empreendedor, no caso a Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), a reposição de vegetação em uma área de extensão superficial equivalente à suprimida (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998).

De acordo com dados do projeto, quando o sistema de disposição final de resíduos foi aprovado, foi exigida a construção de um sistema de lagoas para tratar os líquidos percolados gerados no aterro São João, todavia com o passar do tempo verificou-se a ineficiência desse sistema, sendo desativado em 1996. Desde então, os lixiviados gerados no aterro passaram a ser enviados por carretas rodoviárias para tratamento conjunto com os esgotos sanitários municipais (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998).

Na fase final de operação do Aterro São João foi prevista a capacidade de recebimento de 2.400 toneladas por dia de RSU (ECOURBIS, 2007).

No dia 13 de agosto de 2007 houve um acidente no aterro São João, algumas células de um talude romperam e ocorreu deslizamento de 220.000 m³ do solo de cobertura e dos resíduos que estavam no local. O lixo caiu sobre a pista que dá acesso ao local e foi necessário interromper as atividades do aterro por cerca de 15 dias para regularizar a situação do recebimento dos resíduos. Esse acidente serviu como um alerta para chamar atenção para a dificuldade de encontrar locais para a disposição final adequada dos resíduos (ALESP, 2008).

Na fase de encerramento do local estava previsto impermeabilizar a área com manta de PEAD (Polietileno de alta densidade), com espessura de 2 mm e realizar a compactação do aterro com solo selecionado, para a proteção mecânica do local (ECOURBIS, 2007).

Em relação ao uso futuro do aterro, está previsto no Plano Diretor do Município de São Paulo que a área deverá ser um parque municipal, da mesma forma que o aterro Bandeirantes e outros aterros sanitários municipais. Contudo, tal fato somente ocorrerá se houver garantia do término da geração de gases e dos lixiviados e da necessária estabilização dos recalques do aterro, que deverá ocorrer em longo prazo de tempo. Após o encerramento das atividades operacionais no aterro, o monitoramento das águas superficiais, subterrâneas e o monitoramento geotécnico continuam a ser realizados (ECOURBIS, 2007).

4.3.5 Aterro Sanitário CTR Caieiras

O aterro sanitário de Caieiras, denominado de Central de Tratamento de Resíduos Caieiras (CTR) operado pela Essencis, localiza-se no extremo noroeste do município de Caieiras, junto à divisa com o município de Franco da Rocha, na RMSP (ver Figura 21). O aterro iniciou suas atividades de recebimento de resíduos em 2002, quando atendia os municípios de Caieiras e Cajamar, atualmente encontra-se em operação.

Figura 21 - Imagem aérea do aterro CTR Caieiras (início)

Fonte: Portal eletrônico Essencis [s/d]

De acordo com dados do projeto do aterro, a gleba selecionada para a implantação do aterro é de 3.500.000 m², dos quais 1.500.000 m² (GARCILASSO *et al.*, 2009) foram destinados para a disposição dos resíduos.

O aterro CTR Caieiras foi projetado para realizar o tratamento e a disposição de RSU, industriais (não perigosos e inertes) e Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS). Após solicitação de alterações no projeto o aterro passou a realizar a codisposição de resíduos domiciliares com resíduos industriais Classes IIA e IIB.

No ano de 2012 o CTR Caieiras recebeu os RSU gerados pelos seguintes municípios da RMSP: Cajamar, Caieiras, Embu-Guaçu, Francisco Morato, Franco da Rocha, Itapeceira da Serra, Juquitiba, Mairiporã, Mogi das Cruzes, São Lourenço da Serra, São Paulo e Taboão da Serra (CETESB, 2013a).

O aterro dispõe de capacidade média diária de recebimento de 7.000 t/dia de resíduos, apresenta tempo de vida útil de cerca de trinta anos e foi dividido em seis fases de operação.

Em relação aos procedimentos de manutenção do aterro CTR Caieiras, em seu Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) estão previstas atividades de controle e de manutenção (conforme os itens abaixo) do aterro após seu encerramento:

- Tratamento de líquidos percolados, que deve perdurar até que os afluentes ao sistema de tratamento apresentem teores de DBO e outros parâmetros, dentro dos padrões exigidos pela legislação.
- Manutenção de acessos para os serviços de manutenção e limpeza.

- Manutenção da estrutura topográfica dos aterros em função de recalques e erosões.
- Manutenção do sistema de drenagem superficial, por meio de limpeza e substituições de elementos.

O RIMA do aterro CTR Caieiras não apresenta um plano de encerramento das atividades contendo medidas como o monitoramento ambiental e geotécnico. Isso pode ter ocorrido porque a NBR 13.896 foi estabelecida em 1997 enquanto que o RIMA do aterro foi elaborado em 1998 (CNEC, 1998).

4.3.6 Aterro Sanitário CDR Pedreira

O Centro de Disposição de Resíduos (CDR), denominado aterro sanitário CDR Pedreira, localiza-se a nordeste do município de São Paulo, junto à divisa do município de Guarulhos (ver Figura 22). O aterro encontra-se na base da Serra da Cantareira, na bacia do Córrego Piracema afluente do Ribeirão Engordador e pertencente à sub-bacia de drenagem do Rio Cabuçu de Cima na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê (CETESB, 2013b).

A área destinada ao empreendimento era vizinha ao antigo vazadouro de resíduos domiciliares do Município de Guarulhos. O aterro sanitário está instalado em uma gleba com extensão total de 1.022.200 m² (CETESB, 2013b), sendo que, a área destinada à disposição dos resíduos é de 562.052 m² (ALDEIA DOS RESÍDUOS, 1998).

O aterro iniciou suas atividades em 2000 e a previsão de término do seu período de operação é 2015, de acordo com a Licença de operação parcial nº29.004.805 de 31 de agosto de 2010 (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 2010).

Figura 22 - Imagem aérea do aterro CDR Pedreira início

Fonte: Portal eletrônico Estre [s/d]

A gleba na qual o aterro se encontra pertence à Pedreira FIRPAVI, que iniciou suas atividades na década de 1950 e não foi objeto de licenciamento ambiental, pois foi anterior ao Decreto Lei 8.468/76 (SÃO PAULO, 1976), que estabeleceu as diretrizes para o controle das fontes de poluição no Estado de São Paulo.

O aterro sanitário CDR Pedreira foi projetado em três etapas, obteve Licença de operação para a implantação das Fases I (até a cota máxima 823m) e II (até a cota máxima 785m). A Etapa 3; também obteve licença para realizar a codisposição de resíduos sólidos domiciliares, industriais de classes IIA e IIB e de resíduos indivisíveis. A capacidade máxima de recebimento de resíduos pelo aterro CDR Pedreira é de 6.000 t/dia de resíduos sólidos (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 2010).

Em relação aos efluentes líquidos, os lixiviados são acumulados em lagoas e posteriormente transportados por caminhões-pipa, Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp (CETESB, 2013b).

Dados do projeto do aterro preveem a realização do monitoramento geotécnico durante o período de operação e após o encerramento do aterro a fim de registrar as deformações verticais e deslocamentos horizontais do maciço de resíduos (CETESB, 2013b).

Em relação ao encerramento do aterro, no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) não foi identificado um plano com as medidas a serem implantadas no local após seu encerramento. Citam-se apenas algumas medidas relacionadas à necessidade de cobertura final dos resíduos devido ao risco da presença de animais e catadores; construção de alambrado para impedir a entrada de catadores em qualquer horário, dentre outras (ALDEIA DOS RESÍDUOS, 1998).

De acordo com dados do projeto, o encerramento do aterro será realizado em três etapas, sendo que nas duas primeiras será realizado o isolamento da área destinada à disposição dos resíduos sólidos e na última etapa será efetuado o encerramento de toda a gleba (ALDEIA DOS RESÍDUOS, 1998).

No projeto do aterro CDR Pedreira, foram previstas atividades para o encerramento da área (CETESB, 2013b), como:

- Cercas
- Cortina Vegetal (para a barreira vegetal do entorno do aterro)
- Monitoramento Geotécnico
- Monitoramento dos Efluentes Líquidos
- Monitoramento das Águas Subterrâneas
- Monitoramento das Águas Superficiais
- Monitoramento das Emissões Gasosas
- Monitoramento dos Percolados
- Monitoramento dos Vetores de Enfermidades

4.3.7 Aterro Sanitário de Guarulhos

O Aterro sanitário de Guarulhos situa-se na região nordeste do município de Guarulhos, a dezenove km da capital paulista, no bairro rural Cabuçu, próximo ao

limite com o município de São Paulo (ver Figura 23), é operado pela empresa Quitaúna desde 2001 e atualmente encontra-se em operação.

Figura 23 - Imagem do aterro de Guarulhos

Fonte: CETESB (2010).

Na área em que foi estabelecido o atual aterro sanitário de Guarulhos funcionou anteriormente um lixão por cerca de vinte anos, o qual foi posteriormente transformado em um aterro controlado e depois em aterro sanitário (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998).

O aterro de Guarulhos foi projetado para receber resíduos sólidos domiciliares e industriais Classes IIA e IIB, (ABNT, 2004) apenas do município de Guarulhos. Porém, com a solicitação de ampliação do aterro e com a finalidade de aumentar o seu tempo de vida útil, foi requerida a alteração para que o aterro recebesse apenas resíduos sólidos domiciliares.

O empreendimento possui área total de aproximadamente 413.000 m² (MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, 1998). A construção do aterro sanitário foi dividida em sete fases, de acordo com o processo de licenciamento ambiental, além da Fase oito prevista no projeto de ampliação do aterro e que será construída na mesma gleba do aterro. As áreas destinadas à disposição dos resíduos foram organizadas da seguinte forma:

- Fases 1 a 5: 100.000 m²
- Fase 6: cerca de 56.000 m², atualmente em operação

- Fase 7: 43.000 m², em implantação
- Fase 8: em projeto

Em relação aos efluentes líquidos gerados no aterro, os lixiviados são armazenados em reservatório e encaminhados posteriormente para tratamento conjunto com os esgotos sanitários.

No projeto de encerramento do aterro está previsto monitoramento principalmente dos recalques verticais e horizontais, bem como das águas subterrâneas durante 20 anos de acordo com a NBR 13.896/97 (RESI, 2012).

4.3.8 Aterro Sanitário Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL Floresta

O Aterro Sanitário Central de Tratamento de Resíduos Leste (CTL), conhecido como CTL Floresta, localiza-se no bairro de São Mateus, zona leste do município de São Paulo (ver Figura 24), limitando-se ao sul com o município de Mauá. A CTL ocupa uma área total de 1.123.590 m², adjacente à gleba do aterro sanitário Sítio São João, encerrado desde 2009.

Figura 24 - Imagem do aterro CTL Floresta

O aterro CTL Floresta foi projetado para ocupar uma área 389.500 m² para disposição dos resíduos, com estimativa para o recebimento de cerca de 18,4 milhões de toneladas de resíduos (CEPOLLINA, 2007).

A implantação e operação do aterro serão realizadas em sete fases, com tempo de operação variando de um a três anos, cada uma. A operação foi iniciada em dezembro de 2010, na denominada fase 1, em uma área de 58.000 m².

No aterro são recebidos RSU, Classes IIA e IIB, (ABNT, 2004), Resíduos do Serviço de Saúde (RSS) previamente tratados e lodos das Estações de Tratamento de Esgotos da SABESP.

Em 2013 ocorreu a apresentação do projeto de ampliação do aterro CTL pela atual empresa operadora do aterro, a EcoUrbis. Tal ampliação foi proposta devido à unificação prevista com o Aterro São João, que acomodará um maciço único sobre a área da atual Avenida Sapopemba, que se desenvolve entre as glebas de ambos os aterros. A projeção da área total final incorporando o Aterro São João e a CTL, será de aproximadamente 970.000 m², sendo que a área total da gleba será de aproximadamente 1.881.710 m² (CPEA, 2013).

A proposta de ampliação do aterro não prevê o aumento da capacidade de recebimento de resíduos, mas a ampliação do seu tempo de vida útil e a otimização do aproveitamento da área que atualmente é utilizada.

Segundo CPEA (2013), o contrato de concessão estabeleceu o encaminhamento de 1.740.306 toneladas anuais de resíduos para o aterro sanitário. Porém, durante o ano de 2011 foram recebidas 2.907.612 toneladas de resíduos no aterro CTL, sendo 2.034.312 toneladas de resíduos domiciliares 63.300 toneladas de lodo provenientes das estações de tratamento de esgotos sanitários municipais.

De acordo com as informações do projeto de ampliação do aterro, com o aumento das quantidades de resíduos dispostos no local, verificado durante os anos de operação da CTL, estima-se que a disposição total será de aproximadamente 26.800.000 toneladas de resíduos na área de ampliação da CTL durante o período de 11,2 anos (CPEA, 2013).

Em relação aos efluentes líquidos do aterro, os lixiviados provenientes do aterro CTL são drenados e por meio de caminhões são transportados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários municipais (CPEA, 2013).

A respeito da fase de encerramento do aterro serão implementadas ações concernentes ao Plano de Encerramento, como o recobrimento final e tratamento paisagístico. Sendo mantida uma equipe mínima de funcionários para a segurança e manutenção dos sistemas de proteção ambiental. Da mesma forma afirma-se que será necessária a manutenção dos sistemas de proteção sanitária e ambiental, com o monitoramento dos subprodutos gerados no aterro, gases e líquidos percolados, após o encerramento do recebimento de resíduos pelo aterro. Na proposta é dito que os líquidos gerados após o encerramento da disposição dos resíduos serão monitorados continuamente por um período de 10 a 20 anos (CPEA, 2013).

Todavia, na proposta de ampliação do aterro não foram encontradas medidas mais precisas em relação ao plano de encerramento do aterro, ou mesmo a citação das exigências da NBR 13.896 (ABNT, 1997) referentes ao período de tempo previsto para o tipo de monitoramento, tipos de atividades e de manutenção após o encerramento do aterro.

4.4 LIXIVIADOS NOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS ESTUDADOS E A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA – SÉRIE HISTÓRICA

Para compor a série histórica dos volumes dos lixiviados, transportados e tratados com os esgotos sanitários, no período de 1998 a 2012 foram realizadas a compilação e a organização dos dados diários dos volumes dos lixiviados provenientes do banco de dados do Sistema de Avaliação e Gerenciamento do Recebimento de Esgotos Não Domésticos (SAGRE) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

A composição da série histórica dos dados de precipitação pluviométrica mensal e total referentes ao período desse estudo foi obtida a partir do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo (CIIAGRO), sendo que, os dados de precipitação pluviométrica utilizados são referentes aos municípios onde estão localizados os aterros avaliados nesse estudo.

Os dados de precipitação pluviométrica da base CIIAGRO foram utilizados para realização das relações com a geração de lixiviados para todos os aterros selecionados neste estudo, ou seja, Santo Amaro, Vila Albertina, Bandeirantes, São João, Guarulhos, CDR Pedreira, CTR Caieiras e CTL. Foram realizados gráficos para apresentar as relações da geração dos lixiviados com a precipitação para os anos do período completo do estudo e de acordo com a disponibilidade de dados.

A fim de analisar a correlação entre os valores de precipitação pluviométrica e dos volumes de lixiviados dos locais de disposição final de resíduos selecionados, foi calculado o Coeficiente de correlação de Pearson (r) para a série de dados de volumes dos lixiviados e de precipitação pluviométrica para cada local. Esse coeficiente permite medir o grau de correlação linear entre as variáveis analisadas.

Esse coeficiente de correlação tem duas propriedades que caracterizam a natureza da relação entre duas variáveis. Uma delas é o sinal (+ ou -) e a outra é a magnitude, assim o coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1. Sendo que:

- Se, $r = -1$, correlação negativa perfeita
- Se, $r =$ cerca de $-0,70$ correlação negativa moderada
- Se, $r = 0$, não há correlação linear
- Se, $r =$ cerca de $0,70$ correlação positiva moderada
- Se, $r = 1$, correlação positiva perfeita (STEVENSON, 1981).

Para calcular o coeficiente de correlação de Pearson (r) utiliza-se a seguinte fórmula (MAGALHÃES E LIMA, 2011):

$$r_{X,Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2\right] \left[\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2\right]}}$$

Onde:

r é o coeficiente de correlação

x_i e y_i são as variáveis a ser comparadas

$\bar{x}$ = Média aritmética da variável x_i , calculada da seguinte forma:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$\bar{y}$ = Média aritmética da variável y_i , calculada da seguinte forma:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado para cada aterro, sendo que foram consideradas as séries de dados disponíveis para cada um.

Os dados disponíveis para a composição da série histórica dos dados dos volumes de lixiviados para os locais de disposição final de resíduos municipais, Vila Albertina, Bandeirantes e São João estavam completos para o período de 1998 a 2012, a não ser por uma lacuna de dados no ano de 2004, nos meses de janeiro a abril, que foi desconsiderada para a realização dos cálculos.

Os dados históricos de precipitação para o município de Guarulhos que estavam disponíveis abrangem apenas o período de 2004 a 2012, isto é, não cobrem todo o período desse estudo.

Os aterros de Guarulhos, CDR Pedreira, CTR Caieiras dispunham de dados mensais completos dos volumes de lixiviados no período de 2005 a 2012.

O aterro CTL Floresta por ter iniciado suas atividades depois dos demais aterros, tendo começado a operar em 2010, apresentou disponibilidade de dados dos volumes de lixiviados gerados no ano de 2011 (para os meses de agosto a dezembro) e no ano de 2012.

Ressalta-se que o tempo de resposta dos fatores que influenciam a geração dos lixiviados, como a precipitação pluviométrica, o volume armazenado nas lagoas de

acúmulo e a espessura do maciço de resíduos varia de acordo com as características dos locais de disposição final de resíduos sólidos.

4.5 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO FUTURA DE LIXIVIADOS PELOS LOCAIS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS

A estimativa da produção futura de lixiviados pelos oito locais de disposição final de resíduos avaliados na RMSP, incluindo-se os já encerrados, foi realizada com base na série histórica da geração de lixiviados observada no período de 1998 a 2012. A partir desses dados, foram traçadas linhas de tendência para as próximas décadas, que representam a geração futura de lixiviados na Região Metropolitana de São Paulo, considerando-se que os padrões de precipitação, percolação e de disposição dos resíduos se manterão semelhantes aos atuais.

A série de dados disponíveis dos volumes de lixiviados para o local de disposição final de resíduos de Santo Amaro são de 1998 a 2009, assim para a realização da linha de tendência desse local foi considerado o volume total dos lixiviados gerados no ano de 2009 para os anos de 2010 a 2012.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção encontram-se os resultados referentes à construção da série histórica dos volumes dos lixiviados gerados nos oito locais selecionados, para o período de 1998 a 2012. Os locais foram selecionados por atenderem aos critérios estabelecidos no estudo (ver subseção 4.3).

Primeiramente, encontram-se as informações sobre a situação operacional das áreas de disposição final de resíduos da RMSP, em operação e encerrados. Apresentam-se, a seguir, os gráficos com os volumes dos lixiviados enviados às estações de tratamento de esgotos da SABESP. Nos gráficos também são indicadas as precipitações nos municípios onde se localizam as áreas de disposição final de resíduos selecionadas, nos anos correspondentes do período da pesquisa para cada local. Em seguida, apresenta-se o gráfico comparativo dos volumes de lixiviados totais e anuais gerados em cada local no período do estudo. Depois, há o gráfico com a geração dos volumes totais anuais de lixiviados gerados nos locais em operação e encerrados. Por fim, obtiveram-se as estimativas da geração futura dos lixiviados a partir de linhas de tendência para o grupo dos locais em operação e dos encerrados, baseadas na série histórica dos volumes de lixiviados gerados nos últimos quatorze anos.

A série de dados dos volumes de lixiviados apresentados nesse estudo refere-se ao volume transportado por caminhão, sendo que nos locais de disposição final de resíduos existe uma capacidade de armazenamento que não foi considerada nesse trabalho.

Tabela 7- Quantidade de locais de disposição final de resíduos da Região Metropolitana de São Paulo em relação à condição operacional no período de 1998 a 2012 (un).

Locais	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Em operação	11	11	13	14	15	15	15	16	16	15	13	11	11	10	8
Encerrados	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	5	7	8	9	11
Total	13	13	15	16	17	17	17	18	18	18	18	18	19	19	19

A partir das Tabelas 6 e 7 observa-se que a quantidade dos aterros encerrados aumentou principalmente a partir de 2007, chegando a 11 aterros em 2012.

Alguns dos possíveis motivos da diminuição da quantidade de aterros em operação a partir de 2006 seria a escassez de novos locais para a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos e também porque vários desses aterros passaram a receber os RSU de outros municípios, como por exemplo, o CTR Caieiras (operado pela Essencis), diminuindo assim, a quantidade de aterros em operação e aumentando o número dos aterros encerrados.

Figura 25 – Quantidade de locais em operação e encerrados na RMSP – 1998 a 2012

Fonte: Adaptado de CETESB, 1998 a 2012.

Pode-se observar na Figura 25 o comportamento dos aterros em operação e dos encerrados. A quantidade de locais em operação aumentou até o ano de 2006 e depois diminuiu. A quantidade dos locais encerrados começou a aumentar a partir de 2007, ano em que o aterro Bandeirantes foi encerrado.

5.1.1 Avaliação das Condições Ambientais dos Aterros Estudados

Foram compilados na Tabela 8 os valores do IQR e IQR Nova proposta, que passou a vigorar a partir de 2012 e alterou a classificação dos aterros para: Inadequados, de 0,0 a 7,0 pontos e Adequados, de 7,1 a 10,0 para os aterros em operação selecionados nesse estudo.

Tabela 8 - Valores do IQR e IQR Nova proposta: 1998 a 2012 por aterro

Aterros	1998	1999	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	*2012
CTR Caieiras (Essencis)	..	..	..	9,6	9,4	9,6	9,1	8,4	9,6	9,6	9,5	8,2	8,6	8,3
Aterro de Guarulhos	..	..	..	9,4	9,4	9,4	9,4	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Aterro Bandeirantes (SP)	7,3	8,3	ND	9	8,8	8,8	9,08	9,8	..	..	..	..	..	..
Aterro São João (SP)	9,3	8,5	8,6	8	8,3	8,3	8,92	8,8	...	8,9	..	..	..	..
Aterro CDR Pedreira (SP)	..	..	..	..	..	..	..	..	8,8	9,5	9,5	9,2	9,2	8,3
Aterro CTL Floresta (SP)	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9,3	9,4	9,6

Notas: ND - dado não disponível.

*IQR - Nova Proposta

(..) Não se aplica, pois o aterro não havia iniciado sua operação ou havia sido encerrado.

(...) Dado desconhecido.

Fonte: Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos (CETESB, 1998-2012)

Por meio dos dados da Tabela 8 pode-se notar a evolução das condições ambientais dos aterros por meio dos valores do Índice de qualidade de aterros de resíduos no período avaliado. A partir de 2012 ocorreram mudanças na forma de avaliação e por isso houve variação dos valores do IQR nesse ano, mas não significa que os valores tornaram-se piores que antes.

5.2 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO BANDEIRANTES

O aterro Bandeirantes (ver Figura 26) constitui o segundo maior aterro em quantidade de lixiviados gerados, dentre os aterros avaliados nesse estudo. Seu período de vida útil começou em 1979 e foi encerrado em 2007.

Figura 26 - Imagem de satélite do aterro Bandeirantes

Fonte: *Google Maps* [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

A Figura 27 mostra a série histórica dos volumes de lixiviados do aterro sanitário Bandeirantes, enviados às estações de tratamento de esgotos sanitários e as precipitações pluviométricas no município de São Paulo no período de 1998 a 2012. Pode-se observar o marco de encerramento do aterro (linha vertical preta) em novembro de 2007.

De acordo com o gráfico, podem-se observar os volumes de lixiviados gerados, que atingiram valor máximo de 101.271 m³ no mês de janeiro de 2005, conforme dados da Sabesp (Apêndice A – Aterro Bandeirantes). Nota-se uma lacuna de dados dos volumes de lixiviados de janeiro a maio de 2004, os quais não estavam disponíveis.

Figura 27 - Geração dos lixiviados no aterro Bandeirantes e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012

Nota-se que há relação entre os volumes dos lixiviados e as precipitações ocorridas como mostram os picos mensais de ambas as variáveis e de acordo com os autores LECKIE *et al.* (1979), citados por QASIM & CHIANG (1994), que verificaram que dentre os fatores mais relevantes para a geração de lixiviados estão as precipitações. Da mesma forma os autores MC BEAN *et al.* (1995) citados por BOCCHIGLIERI (2010), afirmaram que os índices pluviométricos representam o fator de maior influência sobre os volumes de lixiviados gerados nos aterros sanitários.

A fim de analisar a correlação entre os valores de precipitação e dos volumes de lixiviados foi calculado o Coeficiente de correlação de Pearson (r) para o período de 1998 a 2012 com o valor de 0,40 indicando relação positiva próximo a moderada, o que não significa que as variáveis são independentes, mas que a correlação não é linear. Isso porque se sabe que há outras variáveis que influenciam a geração de lixiviados.

A melhor correlação para o aterro Bandeirantes foi observada no período de 2010 a 2012, quando o aterro já se encontrava encerrado, com coeficiente de correlação de Pearson (r) de 0,73, o que indica uma correlação positiva moderada.

5.3 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS SANTO AMARO

O local de disposição de resíduos de Santo Amaro (ver Figura 28) é o mais antigo dentre os selecionados nesse trabalho, teve suas atividades iniciadas em abril de 1976 e foi encerrado em fevereiro de 1995, totalizando 18 anos de vida útil.

Figura 28 - Imagem de satélite do local de disposição de resíduos Santo Amaro

Fonte: *Google Maps* [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

O local de disposição de resíduos Santo Amaro continua gerando volumes consideráveis de lixiviados depois de 19 anos de seu encerramento.

Na Figura 29 pode-se observar que os volumes de lixiviados variaram bastante ao longo do período analisado. Sendo que o pico de volume de lixiviados gerados foi de 12.900 m³ em fevereiro de 2009, conforme dados da Sabesp (Apêndice A – Local de disposição de resíduos de Santo Amaro).

Figura 29 - Geração dos lixiviados no local de disposição de resíduos Santo Amaro e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2009

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para essa série de dados foi de 0,58, indicando uma relação positiva moderada entre as variáveis analisadas e que a relação entre as variáveis não é linear.

5.4 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS VILA ALBERTINA

Dentre os locais selecionados nesse trabalho, Vila Albertina (ver Figura 30) é o segundo mais antigo, tendo iniciado suas atividades em 1977 e encerrado em 1993, totalizando 16 anos de vida útil.

Figura 30 - Imagem de satélite do local de disposição de resíduos Vila Albertina

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:10.000, aproximada

Apesar de ter sido encerrado há mais de vinte anos, esse local continua gerando e enviando para tratamento diariamente volumes consideráveis de lixiviados como mostra a Figura 31.

Figura 31 - Geração dos lixiviados no local de disposição de resíduos Vila Albertina e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012.

O gráfico mostra os volumes totais mensais dos lixiviados no local de disposição de resíduos Vila Albertina, enviados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários municipais. Os picos com os maiores volumes dos lixiviados coincidem com os picos das precipitações pluviométricas, chegando a 10.024 m³ de lixiviados em janeiro de 2010, de acordo com dados da Sabesp (Apêndice A – Vila Albertina). Embora esse valor seja bem mais baixo em comparação ao do aterro Bandeirantes, é necessário considerar que a área de disposição final de resíduos Vila Albertina foi encerrada há mais de vinte anos e que possui uma área menor do que o aterro Bandeirantes e ainda assim continua gerando volumes consideráveis de lixiviados por tempo não conhecido.

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para a série de dados do local de disposição de resíduos Vila Albertina foi o mais alto dentre os aterros selecionados, com 0,72, indicando uma relação positiva moderada entre as variáveis analisadas e que a relação entre as variáveis não é linear.

A partir do gráfico observa-se que os volumes gerados são significativos, indicando a necessidade de tratamento dos efluentes mesmo num local de disposição de

resíduos antigo como o Vila Albertina, que pode ser considerado estabilizado, em relação à matéria orgânica conforme os autores SCHARF *et al.* (2010).

5.5 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO SÍTIO SÃO JOÃO

O aterro São João (ver Figura 32) cujo período de operação durou dezessete anos, de 1992 a 2007, apresenta os maiores volumes totais de lixiviados gerados ao longo do período de tempo analisado.

Figura 32 - Imagem de satélite do aterro São João (área menor à direita)

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

Figura 33 - Geração dos lixiviados no aterro São João e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 1998 a 2012

De acordo com o gráfico da Figura 33, de 1998 a 2006 os volumes de lixiviados provenientes do aterro São João foram aumentando gradualmente, porém com volumes menores que 100.000 m^3 ao mês. Em 2007, no mês de janeiro houve um pico máximo de 298.579 m^3 de lixiviados, conforme dados da Sabesp (Apêndice A – Aterro São João, que representariam um volume médio diário de cerca de 9.630 m^3 por dia ou o equivalente para o transporte de 321 caminhões, enviados para tratamento. No mês de novembro do mesmo ano de 2007, ocorreu o segundo maior pico com 148.892 m^3 de lixiviados. A ocorrência desses picos muito acima do padrão pode ser atribuída ao período chuvoso, bem como a questões operacionais do aterro, em relação à capacidade de armazenamento e transporte dos lixiviados, porém não há como confirmar essas hipóteses. Há também a possibilidade do segundo maior pico ter sido influenciado pelo deslizamento de solo e resíduos que aconteceu em agosto de 2007.

Pode-se observar no gráfico o marco de encerramento do aterro (linha vertical preta), que ocorreu em novembro de 2009.

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para a série de dados do aterro São João foi de 0,17, indicando uma relação positiva baixa entre as variáveis analisadas, o que significa que a relação entre as variáveis não é linear.

5.6 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE CAIEIRAS – CTR CAIEIRAS

O aterro CTR Caieiras, operado pela Essencis (ver Figura 34), teve suas atividades iniciadas em 2002, inicialmente recebia os resíduos apenas dos municípios de Caieiras, Cajamar e Franco da Rocha (em 2003), contudo, a partir de 2005 também passou a receber os RSU de São Paulo, São Lourenço da Serra e de Taboão da Serra. No ano de 2012 esse aterro estava recebendo os resíduos de outros sete municípios, completando doze cidades da RMSP.

Figura 34 - Imagem de satélite do aterro CTR Caieiras (Essencis)

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

Atualmente o aterro CTR Caieiras, que se encontra em operação, é o aterro que gera maiores quantidades de lixiviados na RMSP. Devido à disponibilidade de dados esta série compreende o período de 2004 a 2012 (assim como nas subseções 5.6 e 5.7).

Figura 35 - Geração dos lixiviados no aterro CTR Caieiras e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 2004 a 2012

A Figura 35 mostra a evolução da geração dos lixiviados principalmente a partir do ano de 2007, o que pode ter sido influenciado pelo aumento da quantidade de municípios que passaram a dispor seus resíduos no Centro de Tratamento de Resíduos de Caieiras, como do aterro São João, que passou a enviar ao CTR Caieiras grande parte dos resíduos após o acidente em agosto de 2007, quando ocorreu a ruptura e deslizamento de solo e de resíduos no mesmo ano.

No gráfico da Figura 35 os volumes de lixiviados apresentam maior relação com as precipitações pluviométricas em alguns anos, como no período de 2008 a 2010. Porém, a curva dos volumes de lixiviados apresenta tendência de aumento nos próximos anos.

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para essa série de dados foi o mais baixo, 0,13, indicando que não há correlação linear entre as variáveis analisadas.

5.7 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS - CDR PEDREIRA

O aterro CDR Pedreira (ver Figura 36) teve suas atividades de recebimento iniciadas em 2000, atualmente encontra-se em operação e a previsão para seu encerramento é 2015.

Figura 36 - Imagem de satélite do aterro CDR Pedreira (área maior acima)

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

O gráfico da Figura 37 mostra os volumes de lixiviados do aterro CDR Pedreira enviados à Sabesp e as precipitações no município de São Paulo no período de 2004 a 2012. Nota-se que os volumes de lixiviados aumentaram primeiramente de maneira mais acentuada no final do ano de 2007. Posteriormente ocorreram picos significativos em meses do período chuvoso, em novembro e dezembro de 2009 e em janeiro de 2010, mas o maior volume de lixiviados ocorreu em janeiro de 2011 com 84.015 m³, conforme dados da Sabesp (Apêndice A – CDR Pedreira).

Figura 37 - Geração dos lixiviados no aterro CDR Pedreira e a precipitação no município de São Paulo – Série histórica 2004 a 2012

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para a série de dados do aterro CDR Pedreira foi de 0,33, indicando que a relação entre as variáveis analisadas não é linear. Ressalta-se que há outras variáveis que influenciam a geração de lixiviados além da precipitação.

5.8 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO DE GUARULHOS

O aterro sanitário de Guarulhos (ao lado do aterro CDR Pedreira, conforme mostra a Figura 38) começou suas atividades em 2001 e atualmente encontra-se em operação. Esse aterro recebe apenas Resíduos Sólidos Urbanos (Classes IIA e IIB, ABNT 2004) gerados no município de Guarulhos.

Figura 38 - Imagem de satélite do aterro sanitário de Guarulhos (área menor abaixo)

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

Dentre os aterros selecionados e em operação, o de Guarulhos é o aterro que apresenta os menores volumes de lixiviados enviados para tratamento conjunto com os esgotos sanitários.

A Figura 39 mostra que os maiores picos de lixiviados ocorreram nos meses de janeiro de 2011 com 13.613 m³ e em junho de 2012 com um total de 13.854 m³. Ao longo da série de dados é possível notar uma tendência de crescimento dos volumes de lixiviados do aterro de Guarulhos.

Figura 39 - Geração dos lixiviados no aterro de Guarulhos e a precipitação no município de Guarulhos – Série histórica 2004 a 2012

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para a série de dados do aterro de Guarulhos foi de 0,36, indicando que não há correlação linear entre as variáveis analisadas.

5.9 VOLUMES DOS LIXIVIADOS DO ATERRO SANITÁRIO CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS LESTE – CTL FLORESTA

O aterro CTL Floresta (ver Figura 40) é o mais novo dentre os aterros selecionados nesse estudo, iniciou suas atividades em 2010 e, de acordo com os dados do projeto de ampliação do aterro apresentado em 2013, o tempo de vida útil estimado é de 11,2 anos e o total de resíduos dispostos de 26.800.000 toneladas (CPEA, 2013).

Figura 40 - Imagem de satélite do aterro CTL Floresta (área maior à esquerda)

Fonte: *Google Maps*, [s/d]. Escala 1:20.000, aproximada

Observa-se na Figura 40 o aterro CTL Floresta encontra-se ao lado do aterro São João. Eles estão separados pela Avenida Sapopenba.

Em relação à série histórica, pelo fato do aterro CTL ter começado a funcionar em 2010 e da disponibilidade dos dados, a Figura 41 mostra os volumes de lixiviados enviados ao tratamento e as precipitações no município de São Paulo no período de agosto de 2011 a dezembro de 2012.

Figura 41 - Geração dos lixiviados no aterro CTL Floresta e a precipitação no município de São Paulo – Série de 2011 a 2012

Os volumes de lixiviados gerados no aterro CTL nos seus primeiros anos de funcionamento foram razoáveis de acordo com os dados disponíveis.

A partir do gráfico da Figura 41 não é possível ainda identificar nenhuma tendência de aumento ou diminuição nos volumes de lixiviados nos próximos anos, pois há poucos dados.

O valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculado para a série de dados do Aterro CTL Floresta foi o mais alto, 0,73, indicando que há correlação linear positiva moderada entre as variáveis analisadas.

5.10 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

A fim de analisar a correlação entre os valores de precipitação pluviométrica e dos volumes de lixiviados nos locais de disposição de resíduos sólidos selecionados nesse estudo, foram reunidos os valores do Coeficiente de correlação de Pearson (r) (apresentado na Seção 4.4) para cada aterro, conforme mostra a Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r) para cada local

Locais de disposição de resíduos sólidos	Período analisado	r
Santo Amaro	1998-2009	0,58
Vila Albertina	1998-2012	0,72
Bandeirantes	1998-2012	0,40
Sítio São João	1998-2012	0,17
CTR Caireiras (Essencis)	2004-2012	0,13
CDR Pedreira	2004-2012	0,33
Guarulhos	2004-2012	0,36
CTL Floresta	ago/2011-2012	0,73

Os valores da Tabela 9 mostram a correlação entre as variáveis de precipitação pluviométrica e dos volumes de lixiviados. Os maiores valores encontrados foram 0,73 para o aterro CTL Floresta, 0,72 para o Vila Albertina, 0,58 para o Santo Amaro e 0,40 para o aterro Bandeirantes indicando correlação linear positiva moderada entre os dados das variáveis analisadas para esses aterros. Para os demais aterros os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) calculados foram mais baixos, o que não indica que as variáveis sejam independentes, mas que a correlação não é linear. Isso porque se sabe que há outras variáveis que influenciam a geração de lixiviados além da precipitação pluviométrica.

Ressalta-se que os intervalos de anos considerados para cada aterro foram diferentes, de acordo com a disponibilidade dos dados.

5.11 VOLUMES DOS LIXIVIADOS POR LOCAL DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – SÉRIE HISTÓRICA 1998 A 2012

A seguir encontra-se a Figura 42 com o gráfico da série histórica referente aos volumes anuais dos lixiviados por aterro.

Como discutido anteriormente os aterros que apresentaram maiores volumes de geração de lixiviados enviados ao tratamento foram os aterros São João e Bandeirantes. O aterro São João chegou ao pico máximo em janeiro de 2007 e o aterro Bandeirantes alcançou o maior pico em janeiro de 2005 e nos anos posteriores apresentou declínio gradual dos volumes de lixiviados gerados. Ambos os aterros apresentam tendência de redução dos volumes de lixiviados, porém não é possível saber quanto tempo durará a geração desses efluentes.

Figura 42 - Volumes anuais dos lixiviados por local, enviados à Sabesp – Série histórica 1998 a 2012*

Nota: *Os dados referentes ao ano de 2004 foram desconsiderados, pois estavam incompletos e influenciariam no resultado final do gráfico.

O aterro CTR Caieiras apresentou crescimento gradual e acelerado ao longo do período analisado, sendo que entre os meses de março e novembro de 2009 houve um crescimento mais lento. A partir de junho de 2010 o aterro CTR Caieiras mostrou aumento contínuo e constitui o aterro que gerou maiores volumes de lixiviados no ano de 2012.

Vale ressaltar que os aterros CDR Pedreira, CTL Floresta e CTR Caieiras passaram a receber os resíduos provenientes da Região Metropolitana de São Paulo, observando-se uma tendência de aumento da geração de lixiviados nesses aterros.

De acordo com o gráfico da Figura 42, os locais de disposição de resíduos sólidos Vila Albertina e Santo Amaro, que foram encerrados há cerca de 21 e 19 anos, respectivamente e selecionados para comparação com os aterros nesse estudo, apresentaram geração de lixiviados contínua e sem grandes variações ao longo da série histórica, sendo que os volumes do Santo Amaro foram maiores do que os gerados pelo Vila Albertina, exceto pelo ano de 2003. Apesar desses locais estarem encerrados há cerca de vinte anos ainda continuam a gerar volumes de lixiviados entre aproximadamente 30.000 e 90.000 m³/ano nos últimos dez anos, e não se sabe por quanto tempo ainda haverá geração de lixiviados nesses locais.

5.11.1 Lixiviados gerados nos locais de disposição de resíduos sólidos em operação e encerrados da Região Metropolitana de São Paulo

A Figura 43 apresenta os volumes anuais de lixiviados para os locais de disposição de resíduos sólidos encerrados e em operação.

Figura 43 - Geração dos lixiviados nos locais em operação e encerrados na RMSP - Série histórica 1998 a 2012

Ressalta-se que durante a vida útil de um local de disposição de resíduos sólidos a produção de chorume é variável, com tendência de aumentar ao longo dos anos. Após alguns anos do seu encerramento os volumes de lixiviados tendem a diminuir lenta e gradualmente dependendo principalmente das condições climáticas e das características do projeto do aterro, como, sua profundidade, cobertura final, captação e proteção das águas de chuva dentre outros fatores.

5.12 PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO FUTURA DOS LIXIVIADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Em relação ao volume total dos lixiviados provenientes dos locais de disposição de resíduos sólidos encerrados e em operação levantados por meio deste estudo, a tendência é que os volumes continuem significativos, se o padrão atual de geração de lixiviados continuar o mesmo (ver Figura 44).

Figura 44 - Tendências da geração de lixiviados nos locais em operação e encerrados – próximas décadas

A Figura 44 mostra a tendência de aumento dos volumes de lixiviados nas próximas décadas considerando-se que os padrões de precipitação, percolação, disposição dos resíduos, questões operacionais dos aterros, dentre outros fatores, se mantenham semelhantes aos atuais.

Por meio dos gráficos e informações apresentadas neste estudo é possível ter a dimensão da problemática da geração dos lixiviados de uma das maiores regiões metropolitanas do mundo. Por isso é necessário haver planejamento e investimento na gestão dos resíduos sólidos bem como no tratamento dos lixiviados para que nas próximas décadas os locais para disposição final dos resíduos sólidos urbanos e as formas de tratamento dos lixiviados sejam adequadas e suficientes para a demanda dos grandes centros urbanos como a RMSP.

No ano de 2012 a Sabesp recebeu e tratou mais de 2 milhões de m³ de lixiviados das áreas de disposição final de resíduos encerradas e em operação da RMSP, conforme dados da Sabesp.

Se os volumes dos lixiviados gerados continuarem aumentando no ritmo atual, os sistemas de recebimento e tratamento dos lixiviados não serão suficientes para atender a demanda dos municípios da Região Metropolitana de São Paulo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Uma vez que a geração de resíduos sólidos urbanos, e por consequência dos lixiviados nos aterros sanitários é crescente, e diante da falta de planejamento em relação ao tratamento desses lixiviados, pode-se esperar que nas próximas décadas não haverá condições de recebimento dessas cargas pelos sistemas públicos de esgotos da forma como hoje é praticado.

No decorrer desse trabalho, tornou-se explícita a carência de dados em relação ao volume de lixiviados produzidos nos aterros, sejam eles encerrados ou não, indicando a necessidade de melhoria dos controles operacionais nos mesmos. O suprimento dessas informações pelo emprego de modelos e equações matemáticas, revela outra fragilidade, referente à imprecisão dos modelos disponíveis para estimar a geração de lixiviados, que não consideram variações pelas quais os resíduos passam ao longo do tempo, como o processo de degradação da matéria orgânica, o que eleva as incertezas quanto aos resultados obtidos nessas simulações. Assim, uma importante demanda observada se refere ao desenvolvimento de pesquisas para aprimorar os modelos empregados para estimar a geração dos lixiviados.

Em relação às condições ambientais dos aterros em operação da RMSP, observou-se que há uma preocupação com o gerenciamento dessas plantas, retratada pela evolução do IQR calculado pela CETESB, evidenciando a validade e a necessidade de se manter e aprimorar continuamente essas ações de gerenciamento.

Esse estudo chama a atenção para a questão dos aterros encerrados, que no caso da Região Metropolitana de São Paulo, existem em grande quantidade e estão produzindo volumes significativos de lixiviados, com tendência a continuar o processo de geração desses efluentes por períodos de tempo significativos. Esse cenário é ainda agravado, considerando-se a perspectiva crescente em relação ao surgimento de novos aterros em decorrência do esgotamento da capacidade dos aterros em operação. Essa dinâmica encontra-se simulada na Figura 11 à página 59.

Ao contrário dos aterros em operação, nos aterros encerrados não há formas de avaliação sistemática como o acompanhamento do IQR, realizado pela agência ambiental. Além disso, há poucas especificações em relação aos monitoramentos necessários após o encerramento dos aterros, especialmente quanto ao período de tempo recomendado para o acompanhamento ambiental e geotécnico das áreas, a exemplo do monitoramento das águas subterrâneas, normatizado pela NBR 13.896 (ABNT, 1997) que estabelece um período após o encerramento dos aterros, equivalente a 20 anos ou mais, para as avaliações. Além disso, deve haver uma provisão para os gastos envolvidos no monitoramento e manutenção desses aterros através dos tempos.

Essa pesquisa possibilitou a percepção da dimensão do problema em relação à necessidade de locais adequados para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos e de infraestrutura para o tratamento dos lixiviados, a fim de atender às demandas atuais e futuras da RMSP. Ressalta-se que caso os sistemas de tratamento dos lixiviados esgotem sua capacidade, não comportando os volumes crescentes desses efluentes nos próximos anos, poderá haver diversas implicações de cunho ambiental a serem equacionadas.

É necessário elaborar uma agenda com ações conjuntas que considerem a viabilidade do recebimento dos volumes de lixiviados para o tratamento consorciado com os esgotos sanitários pelas estações de tratamento do sistema público de esgotos, uma vez que, as mesmas não foram projetadas para receber as significativas cargas adicionais provenientes dos lixiviados, ou seja, esse recebimento precisa ser planejado, desde a concepção dos aterros, de maneira integrada com a implantação das futuras Estações de Tratamento de Esgotos.

É importante chamar a atenção para a questão da destinação final de resíduos sólidos, fortalecendo a importância de se buscar programas voltados para a educação ambiental, especialmente em relação à minimização da geração de resíduos sólidos urbanos. Se não houver uma efetiva mudança de cultura e comportamento, de modo a evitar que a geração de resíduos permaneça em franca ascendência, poderá não haver infraestrutura disponível para tratar e dispor de forma adequada os resíduos e os lixiviados provenientes dos trinta e nove municípios da Região Metropolitana de São Paulo.

A perspectiva vislumbrada para a mudança desse cenário diz respeito ao surgimento e ao emprego de tecnologias alternativas que possibilitarão outras formas de tratamento e disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos que já se configuram como solução para os resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo. Dessa forma haverá menos dependência dos aterros sanitários, mas ainda assim os aterros existentes, bem como os encerrados, continuarão a gerar lixiviados.

Por fim, cabe enfatizar os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos que consideram a redução dos RSU, abordando o problema desde a sua origem, de tal modo que estabelece uma ordem de prioridade na qual é dada maior ênfase à redução da geração dos resíduos, seguida pela reutilização e por fim a reciclagem. Dessa forma, a tendência em longo prazo será minimizar a geração, e analogamente o recebimento dos Resíduos Sólidos Urbanos pelos aterros, a exemplo do que está se buscando nos países da comunidade europeia. Entretanto, a mudança de cultura e de hábitos da população em relação ao consumo consciente, e à geração de resíduos sólidos, é um processo longo, e desse modo, enquanto os efeitos dessa nova cultura não forem materializados, a dependência dos aterros será mantida e assim, será necessário buscar alternativas que possibilitem a adequada disposição final dos resíduos e no caso dos aterros sanitários, devendo ser levado em consideração o tratamento dos lixiviados de modo a garantir a saúde pública e ambiental para as gerações futuras.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 - **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro; 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.896 – **Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 – **Classificação dos resíduos sólidos quanto à sua periculosidade**. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012**. 116p. São Paulo, 2012.

AGÊNCIA BRASIL. Maior parte dos estados e municípios não tem Plano de Gestão de Resíduos Sólidos. 22 jul. 2012. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-07-22/maior-parte-dos-estados-e-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-residuos-solidos>. Acesso em: 27 jan. 2014.

ALDEIA DOS RESÍDUOS. **Estudo de Impacto Ambiental do Centro de Disposição de Resíduos – CDR Pedreira**. São Paulo, 1998.

ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Requerimento de informação nº 124, 2 de abril de 2008. Referente à solicitação de informações do Aterro São João junto à CETESB. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/spl/2008/04/Arquivos/11425127_789515_RI124.txt>. Acesso em: 7 abr. 2014.

ALMEIDA, E. **Comentários da Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2012. Disponível em <http://www.egov.ufsc.br/portal/conteudo/lei-12305-pol%C3%ADtica-nacional-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em: 09 jan. 2013.

AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation–flocculation. **Water Research**, Elsevier Science, vol. 11, n. 31, p.2775–2782. 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431354/31/11>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução de RECIO, M. A. L. e CARRERA, L. C. M., 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARREIRA, L. P e BARNABE, A. S. Resíduos sólidos, contaminação ambiental e relações com a saúde pública. In: GIATTI, L. L. (Org.). **Fundamentos de saúde ambiental**. Manaus: Editora da Universidade Federal de Amazonas. 2009, p. 351.

BESSEN, G. R. *et al.* Resíduos sólidos: vulnerabilidades das megacidades e perspectivas. In: SALDIVA, P. *et al.* **Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles**. São Paulo: Ex-libris Comunicação integrada, 2010. p107-123.

BOCCHIGLIERI, M. M. **A influência do recebimento de chorume dos aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo nas estações de tratamento de esgotos do sistema integrado**. 2005. 187p Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BOCCHIGLIERI, M. M. **O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgoto**. 2010. 257p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei no. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diários Oficial da União, Brasília, DF.

CEM/ CEBRAP – Centro de estudos da metrópole. Mapa da Região Metropolitana de São Paulo. Municípios e sedes em 2007. 2008. Disponível em: <<http://www.fflch.usp.br/centrodametropole/569>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

CEPOLLINA – ENGENHEIROS CONSULTORES. Estudo de Impacto Ambiental do Aterro sanitário Central de Tratamento de Resíduos Leste do Município de São Paulo – CLT. 9 v. São Paulo, 2007.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 1998-2002. São Paulo, 1998-2002.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Imagem do aterro de Guarulhos. 2009. Mapa da Destinação de resíduos urbanos. 2010. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: 11 jan. 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2003-2011. [relatórios na internet]. São Paulo, 2003 a 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 31 jan. 2013 e 1 fev. 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2012. [relatório na internet]. São Paulo, 2013a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>>. Disponível em: 13 ago. 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Informações obtidas junto à CETESB por meio de consulta e via email. 2013b.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Reatores. [Portal eletrônico]. [s.d.]. Disponível em: <<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/unificado/roteiros/ATERRO/projeto%20de%20recupera%C3%A7%C3%A3o%20lixao.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2013.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. CIIAGRO online. 2013. Disponível em:

<<http://www.ciiagro.sp.gov.br/CIIAGROonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>>. Acesso em: 11 nov 2013.

CHILTON, J.; CHILTON, K. A critique of risk modeling and risk assessment of municipal landfills based on United States Environmental Protection Agency techniques. **Wast Management and Research**, vol. 10, p. 505-516. 1992.

CNEC – CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES. Relatório de Impacto Ambiental da Central de Tratamento de Resíduos – CTR Caieiras. Vol. 8. São Paulo, 1998. 267p.

CPEA - CONSULTORIA, PLANEJAMENTO E ESTUDOS AMBIENTAIS. Ampliação da Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL (EIA/ RIMA). 2013. 9v. São Paulo.

DE JORGE, F. N.; DE BAPTISTI, E.; GONÇALVES, A. Monitoramento em aterros sanitários nas fases de encerramento e de recuperação: desempenhos mecânico e ambiental. In: Seminário sobre resíduos sólidos, 2004. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). 20p. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~gustavo/geotecniaaplicada/p7.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2013.

DE LEO, O. C. O lugar do lixo na cidade de São Paulo, a gestão territorial e a contribuição geográfica. 2006. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-09042006-143207/pt-br.php>>. Acesso em: 25 jan 2013.

DI PALMA, L.; FERRANTELLI, P.; MERLI, C.; PETRUCCI, E. Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis, **Waste Management**, vol. 22, p. 951–955. Dec. 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12423060>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

DIAS, T. Membranas: meio filtrante de tecnologia avançada. **Revista Meio Filtrante**, ano V, n. 23, novembro e dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?id=265>>. Acesso em: 18 fev. 2014.

ECOURBIS. Novo plano de encerramento e fechamento do aterro Sanitário Sítio São João. 1 v. São Paulo, 2007.

EHRIG, H. J. Treatment of sanitary landfill leachate: biological treatment. **Waste Management and Research**, vol. 2, n. 2, p.131–152, Jun. 1984. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734242X84901368>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

FENN, D. G.; KEITH, J. H.; De GEARE, T. V. **Use of water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites**. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 1975. p 40.

FERREIRA, J. A. Resíduos sólidos: perspectivas atuais. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. De (org.). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000. p. 19-40.

FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. de A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21º, 2001, João Pessoa, PB. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Saneamento ambiental: desafio para o século 21. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Trabalhos técnicos. 9 p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-108.pdf>> Acesso em: 7 ago. 2013.

FIRTA, I. N.; CASTILHOS JR., A. B. de. Método Balanço Hídrico (Apêndice III). In: CASTILHOS JR, A. B. de. (Coord). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES e RiMa, 2003. 294p. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabArmando.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

GARCILASSO, V. P.; VELÁSQUEZ, S. M. S. G.; COELHO, S. P. **Geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de aterro sanitário**. 2009. CENBIO – Relatórios. 12p. Disponível em: <http://web-resol2.tempsite.ws/textos/xiiicbe_aterro.pdf>. Acesso: 15 jan. 2014.

GONÇALVES, C. L. Definindo a questão do lixo urbano. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. 1997. p. 3.

HAMADA, J. **Concepção de aterros sanitários: Análise crítica e contribuições para o seu aprimoramento no Brasil**. 2003. 254p. Texto de Livre Docência - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Bauru.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. p. 219. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa Populacional 2012**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2012/>>. Acesso em 25 jan. 2013.

JACOBI, P. R; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, abril de 2011. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 set. 2012.

JACOBI, P. R; TEIXEIRA, M. A. C. Resíduos sólidos e educação ambiental: quando a vontade influi nas políticas públicas. In: **Educação, meio ambiente e cidadania: Reflexões e experiências**. São Paulo: SMA/ CEAM, 1998. p. 53-60.

JHAMNANI, B.; SINGH, S. K. Migration of Organic Contaminants from Landfill: Minimum Thickness of Barriers. **The Open Environmental Pollution & Toxicology Journal**, vol.1, p. 18-26, 2009. Disponível em: <<http://www.benthamscience.com/open/toeptj/articles/V001/18TOEPTJ.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

JOKELA, J. P. Y.; KETTUNEN, R. H.; SORMUNEN, K. M.; RINTALA, J. A. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate: low-cost nitrification in biofilters and

laboratory scale in-situ denitrification, **Water Research**, vol. 36, n. 16, p. 4079–4087, Sep. 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12405416>>. Acesso em: 16 ago. 2013.

LACERDA, A. O Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, o maior lixão a céu aberto da América Latina, na Baixada Fluminense, será fechado no dia 1º de junho, anunciou o prefeito Eduardo Paes. Portal Uol notícias. Imagem: 30 abr. 2012. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/album/2012/04/30/aterro-de-jardim-gramacho.htm#fotoNav=2>> . Acesso em 13 fev. 2013.

LEDESMA, M. T. O.; GÓMEZ, J. S.; RIVERA, R. C.; VALENCIA, M. N. R. Método de balance de água para La estimación de La generación de lixiviados em rellenos sanitários. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Brasil, 2000.

LI, X. Z.; ZHAO, Q. L.; HAO, X. D. Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. **Waste Management**. vol. 19, p.409–415, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/0956053X/19/6>>. Acesso em: 02 set. 2013.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. de. Noções de probabilidade e estatística. 7 ed. 1 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2011.

MARTINS, C. L.; CASTILHOS JR, A. B. de.; COSTA, R. H. R. Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação do efluente. **Eng. Sanit. Amb.** Vol. 15, n. 10, out./ dez. 2010. p. 401-410. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n4/a13v15n4.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

MARTTINEN, S. K., KETTUNEN, R. H.; SORMUNEN, K. M.; SOIMASUO, R. M.; RINTALA, J. A. Screening of physical–chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. **Chemosphere**, vol. 46, p. 851–858, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00456535/46/6>>. Acesso em: 14 set. 2013.

MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA e RIMA) do Aterro Sanitário e industrial de Guarulhos. 3 v. São Paulo, 1998.

MB ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE. Licença de operação parcial – Ampliação CDR Pedreira. 2010. Disponível em: <http://www.mbengenharia.com/userfiles/file/Nova_Licenca_de_Operacao_Parcial_CDR_29004805.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2014.

MEDEIROS, E.; RIOS, M. Prefeitos assumem incapacidade e fim dos lixões vira um sonho distante. Correio Braziliense 4 maio 2013. Disponível em: <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/noticias/prefeitos-assumem-incapacidade-e-fim-dos-lixoes-vira-um-sonho-distante>>. Acesso em: 27 mar. 2014.

MEYER, R. M. P.; GROSTEIN, M. D.; BIDERMAN, C. **São Paulo Metrópole**. São Paulo: EDUSP - Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p. 302. 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão preliminar para consulta pública. Brasília – DF, setembro de 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf. Acesso em 4 fev. 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão pós-audiências consulta pública para os Conselhos Nacionais. Brasília – DF, fevereiro de 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf> Acesso em: 28 mar. 2014

NITAHARA, A. Aprovada há três anos, a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos é lenta. Portal EBC. 8 set. 2013. Disponível em:

<<http://www.ebc.com.br/noticias/brasil/2013/09/aprovada-ha-tres-anos-a-implantacao-da-politica-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 28 mar. 2013.

OLIVEIRA, S. M DE L. Resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo: uma visão contemporânea. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas. São Paulo**: Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. 1997.

PARLAMENTO EUROPEU. Directiva 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de abril de 1999: relativa à disposição de resíduos em aterros. Jornal Oficial da União Europeia, nº L 182 de 16 de julho de 1999, p. 1 – 19. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:PT:HTML>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

PMSP - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Secretaria de Serviços. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos 2012. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/pmsp_2012_plano_municipal_gestao_integrada_residuos_s.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2013.

PMSP – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Serviços. Departamento de Limpeza Urbana. Conscientização da Gestão dos Resíduos Sólidos no Município de São Paulo. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/limpurb_1319723691.pdf>. Acesso em: 8 out. 2013.

PMSP - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB). Coleta de lixo. A coleta de lixo em São Paulo. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/coleta_de_lixo/index.php?p=4634>. Acesso em: 27 jan. 2014a.

PMSP – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Setor de desenvolvimento de geoprocessamento, Departamento de Limpeza Urbana, LIMPURB I. Coleta domiciliar: distribuição das empresas. Disponível em: <

http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/mapa_concessao_1263505380.pdf>. Acesso em 27 jan. 2014b.

PMSP – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB). Aterros e Transbordos. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/aterros_e_transbordos/index.php?p=4633>. Acesso em: 27 jan. 2014c.

QASIM S. R.; CHIANG, W. Sanitary. **Landfill leachate: generation, control and treatment**. Pensilvânia: Technomic, 1994. p. 339.

RAUTENBACH, R.; LINN, T.; EILERS, L. Treatment of severely contaminated waste water by a combination of RO and NF—potential and limits of the process. **Journal of Membrane Science**. vol. 174, p. 231–241, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03767388/174/2>>. Acesso em: 18 set. 2013.

REINHART, D. R.; AL-YOUSFI, A. B. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. **Waste Management & Research**, vol. 14, n. 4, p. 337–346, Jul. 1996. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/14/4/337.abstract>> Acesso em: 23 ago 2013.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**. vol. 150. p. 468–493, Set. 2008. Disponível em: <<http://s217021060.onlinehome.fr/pdf-2011/Renou1.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

RESI - Consultoria e Projetos. Relatório de Impacto Ambiental: Ampliação do Aterro sanitário no município de Guarulhos. 4 v. Salto, 2012.

ROCCA, A. C. C. *et al.* Resíduos sólidos industriais. 2 ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 1993. p. 233.

ROIZ, L. Agenda de desenvolvimento de Guarulhos. Estado empossa Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana da Grande São Paulo, [s.d.]. Diário de Guarulhos. Disponível em:

<http://www.agendeguarulhos.org.br/noticia_interna.php?id=445>. Acesso em: 31 mai. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: 20 jan 2014.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA nº 13, de 27 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a obrigatoriedade da atualização anual do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, D.O.E., São Paulo, 28 de julho de 2001.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, D.O.E. Executivo, São Paulo, 17 de março de 2006.

SÃO PAULO (Estado). Decreto 55.149 de 10 de dezembro de 2009. Dá nova redação aos dispositivos do Decreto nº 47.400, de 4 de dezembro de 2002, que regulamenta disposições da Lei nº 9.509, de 20 de março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/2009_Dec_Est_55149.pdf>. Acesso em: 26 fev 2013.

SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar 1.139, de 16 de junho de 2011. Reorganiza a Região Metropolitana da Grande São Paulo, cria o respectivo Conselho de Desenvolvimento e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, D.O.E, 17 de junho de 2011.

SCHALCH, C. L; ALMEIDA LEITE, W. C. DE; GOMES, L. P. **Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos** [Apostila do curso de pós-graduação]. São Carlos, p. 227, [s.d.].

SCHARFF, H.; ZOMEREN, A.; SLOOT, H. A. Landfill sustainability and aftercare completion criteria. **Waste Management Research**, vol.; 29, n. 1, p. 30-40. Out.

2010. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/29/1/30.full.pdf+html>>. Acesso em: 23 mar. 2013.

SCHIOPU, A. M.; GAVRILLESCU, M. Options for the treatment and management of municipal landfill leachate: common and specific issues. **Clean: soil, air, water**, vol 38, n. 12, p. 1101-1110, 2010.

SEMASA - Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André. Aterro sanitário de Santo André [s.d.]. Disponível em: <http://www2.semasa.sp.gov.br/node/63>. Acesso em 13 fev 2013.

SILVA, S. DA; RODRIGUES, J. C. V.; CAMARA, N. L. Saneamento básico e problemas ambientais na região metropolitana do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, vol. 1, p.5-106, 1990.

SILVA, A. C. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. 2002. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/ COPPE, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Efluente-Tratamento-Chorume.pdf>. Acesso em: 15 set. 2013.

SISINNO, C. L. S. Resíduos sólidos e saúde pública. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. De (orgs). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2000, p. 41-57.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; DUFRAYER, M. C.; MOREIRA, J. C.; PAUMGARTTEN, F. J. R. Toxicity evaluation of a municipal dump leachate using zebrafish acute tests. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 64, n. 1, 2000, p. 107-113.

STEVENSON, W. J. Estatística aplicada à administração. FARIAS, A. A. de (Trad.). São Paulo: Harper & Row do Brasil. 1981.

TEIXEIRA, M. A. C; CARVALHO, V. S.; SEGURA, D de S. B. Produção de lixo na Região Metropolitana de São Paulo. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. 1997.

TEIXEIRA, M. A. C. Alternativas de tratamento e destinação final do lixo urbano. In: **Consumo, lixo e meio ambiente – desafios e alternativas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/ CEDEC/ Coordenadoria de Educação Ambiental. 1997.

UMAH – Urbanismo, Meio ambiente e Habitação. Estudo de Impacto Ambiental do Aterro Sanitário Sítio São João. São Paulo, 1990.

UOL NOTÍCIAS. Portaria que proíbe descarte de resíduos de terceiros no aterro de Manaus é reeditada. Jornal eletrônico A crítica, portal Uol notícias, Manaus, 19 abr. 2012. Disponível em: <http://acritica.uol.com.br/manaus/Portaria-residuos-terceiros-Manaus-reeditada-Amazonia-A Amazonas-Manaus_0_685131551.html>. Acesso em: 13 fev. 2013.

VILHENA, A (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 3. Ed. São Paulo: CEMPRE, 2010. p. 350.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 1. Minas Gerais: ABES, 1995.

WANG, Y.; PELKONEN, M.; KAILA, J. Optimization of landfill leachate management in the aftercare period. **Waste Management Research**, vol. 30, n. 8, p. 789-799, Aug. 2012. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/content/30/8/789.refs>>. Acesso em: 19 set. 2012.

WIKIPEDIA. Mapa do Estado de São Paulo e Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/SaoPaulo_RM_SaoPaulo.svg/640px-SaoPaulo_RM_SaoPaulo.svg.png>. Acesso em: 13 dez. 2013.

WILLIAMS, N. D.; POHLAND, F. G.; MCGOAN, K. C.; SAUNDERS, F. M. U.S. Environmental Protection Agency. **Simulation of leachate generation from municipal solid waste**. EPA/ 600/ 2-87/ 059. Aug. 1987. 168p.

ANEXOS

Anexo A - Formulário padronizado aplicado pela CETESB – IQR

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR				
MUNICÍPIO:			DATA:	
LOCAL:			AGÊNCIA:	
BACIA HIDROGRÁFICA:			UGRHI:	
LICENÇA: L.I.: ☐ L.O.: ☐			TÉCNICO:	
ÁREA OCUPADA:				

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS	
1	CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO	ADEQUADA	5		
		INADEQUADA	0		
	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	LONGE > 500m	5		
		PRÓXIMO	0		
	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	LONGE > 200m	3		
		PRÓXIMO	0		
	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	MAIOR 3m	4		
		DE 1 A 3m	2		
		DE 0 A 1m	0		
	PERMEABILIDADE DO SOLO	BAIXA	5		
		MÉDIA	2		
		ALTA	0		
	DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	SUFICIENTE	4		
		INSUFICIENTE	2		
		NENHUMA	0		
2	QUALIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	BOA	2		
		RUIM	0		
		BOAS	3		
	CONDIÇÕES DE SISTEMA VIÁRIO, TRÂNSITO E ACESSO	REGULARES	2		
		RUINS	0		
	ISOLAMENTO VISUAL DA VIZINHANÇA	BOM	4		
		RUIM	0		
	LEGALIDADE DE LOCALIZAÇÃO	LOCAL PERMITIDO	5		
		LOCAL PROIBIDO	0		
	SUBTOTAL MÁXIMO			40	
	3	CERCAMENTO DA ÁREA	SIM	2	
			NÃO	0	
		PORTARIA / GUARITA	SIM	2	
			NÃO	0	
		IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE DO ATERRO	SIM / DESNECES.	5	
		NÃO	0		
DRENAGEM DE CHORUME		SUFICIENTE	5		
		INSUFICIENTE	1		
		INEXISTENTE	0		
DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS DEFINITIVA		SUFICIENTE	4		
		INSUFICIENTE	2		
		INEXISTENTE	0		
DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROVISÓRIA		SUFICIENTE	2		
		INSUFICIENTE	1		
		INEXISTENTE	0		
TRATOR DE ESTEIRAS OU COMPATÍVEL		PERMANENTE	5		
		PERIÓDICAMENTE	2		
		INEXISTENTE	0		
OUTROS EQUIPAMENTOS		SIM	1		
		NÃO	0		
SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME		SUFICIENTE	5		
		INSUF. / INEXIST.	0		
ACESSO À FRENTE DE TRABALHO		BOM	3		
		RUIM	0		
4		VIGILANTES	SIM	1	
		NÃO	0		
	SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE	3		
		INSUFICIENTE	1		
		INEXISTENTE	0		
	CONTROLE RECEBIMENTO DE CARGAS	SIM	2		
		NÃO	0		
	MONITORIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	SUFICIENTE	3		
		INSUFICIENTE	2		
		INEXISTENTE	0		
	ATENDIMENTO A ESTIPULAÇÕES DE PROJETO	SIM	2		
		PARCIALMENTE	1		
		NÃO	0		
	SUBTOTAL MÁXIMO			45	

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
5	ASPECTO GERAL	BOM	4	
		RUIM	0	
	OCORRÊNCIA DE LIXO A DESCOBERTO	NÃO	4	
		SIM	0	
	RECOBRIMENTO DO LIXO	ADEQUADO	4	
		INADEQUADO	1	
		INEXISTENTE	0	
	PRESENÇA DE URUBUS OU GAVOTAS	NÃO	1	
		SIM	0	
	PRESENÇA DE MOSCAS EM GRANDE QUANTIDADE	NÃO	2	
		SIM	0	
	PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	3	
		SIM	0	
	criação de animais (porcos, bois)	NÃO	3	
		SIM	0	
	DESCARGA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	NÃO	3	
		SIM	0	
	DESCARGA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO / ADEQUADA	4	
		SIM / INADEQ.	0	
	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL DEFINITIVA	BOM	2	
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL PROVISÓRIA	BOM	2	
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM DE CHORUME	BOM	3		
	REGULAR	2		
	INEXISTENTE	0		
FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	BOM	5		
	REGULAR	2		
	INEXISTENTE	0		
FUNCIONAMENTO DO SIST. DE MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	BOM	2		
	REGULAR	1		
	INEXISTENTE	0		
EFICIÊNCIA DA EQUIPE DE VIGILÂNCIA	BOA	1		
	RUIM	0		
MANUTENÇÃO DOS ACESSOS INTERNOS	BOAS	2		
	REGULARES	1		
	PÉSSIMAS	0		
SUBTOTAL MÁXIMO			45	

TOTAL MÁXIMO	130	
---------------------	------------	--

IQR=SOMA DOS PONTOS / 13	
---------------------------------	--

IQR	AVALIAÇÃO
0 a 6,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS
6,1 a 8,0	CONDIÇÕES CONTROLADAS
8,1 a 10	CONDIÇÕES ADEQUADAS

Anexo B - Formulário padronizado aplicado pela CETESB – IQR Nova Proposta
(aplicado a partir de 2012)

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS NOVA PROPOSTA- IQR				
MUNICÍPIO:			DATA:	
LOCAL:			AGÊNCIA:	
BACIA HIDROGRÁFICA:			UGRH:	
LICENÇA: L.I.: ☐ L.O.: ☐			TÉCNICO:	

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
ESTRUTURA APOIO	1. PORTARIA, BALANÇA E VIGILÂNCIA	SIM/SUFICIENTE NÃO/INSUFICIENTE	2 0	
	2. ISOLAMENTO FÍSICO	SIM/SUFICIENTE NÃO/INSUFICIENTE	2 0	
	3. ISOLAMENTO VISUAL	SIM/SUFICIENTE NÃO/SUFICIENTE	2 0	
	4. ACESSO À FRENTE DE DESCARGAS	ADEQUADO INADEQUADO	3 0	
FRONTAL DO LOTE	5. DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADAS INADEQUADAS	5 0	
	6. COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADA INADEQUADA	5 0	
	7. RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO INADEQUADO	5 0	
TALUDES	8. DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADAS INADEQUADAS	4 0	
	9. COBERTURA DE TERRA	ADEQUADA INADEQUADA	4 0	
	10. PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADA INADEQUADA	3 0	
SUPERFÍCIE	11. AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO/RAROS SIM/NÚMEROSOS	4 0	
	12. NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO INADEQUADO	5 0	
	13. HOMOGENEIDADE DA COBERTURA	SIM NÃO	5 0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	14. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM/ADEQUADA (PREENCHER ITEM 15) NÃO/INADEQUADA (PREENCHER ITEM 15)	10 0	
	15. PROF. LENÇOL FREÁTICO (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (K)	P > 3 m, k < 10-6 1 <= P <= 3 m, k < 10-6 CONDIÇÃO INADEQUADA	4 2 0	
	16. DRENAGEM DE CHORUME	SIM/SUFICIENTE NÃO/INSUFICIENTE	4 0	
	17. TRATAMENTO DE CHORUME	SIM/ADEQUADO NÃO/INADEQUADO	4 0	
	18. DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE/DESNECES NÃO/INSUFICIENTE	3 0	
	19. DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE/DESNECES NÃO/INSUFICIENTE	4 0	
	20. DRENAGEM DE GASE	SUFICIENTE/DESNECES NÃO/INSUFICIENTE	4 0	
	21. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ADEQUADO INADEQUADO/INSUFIC. INEXISTENTE	4 1 0	
	22. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO/DESNECES INADEQUADO/INSUFICIENTE INEXISTENTE	4 1 0	
	SUBTOTAL 1			96

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS	
OUTRAS INFORMAÇÕES	23. PRESENÇA DE CATADORES	NÃO SIM	2 0		
	24. QUEIMA DE RESÍDUO	NÃO SIM	2 0		
	25. OCORRÊNCIA DE MOSCAS E ODORES	NÃO SIM	2 0		
	26. PRESENÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO SIM	2 0		
	27. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	NÃO SIM	2 0		
	28. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (Preencher item 29) NÃO (ir p/Item 30)		-	
	29. ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE/ADEQUADO INSUFICIENTE/INADEQ.	10 0		
	SUBTOTAL 2.1			10	
	SUBTOTAL 2.2			20	
CARACTERÍSTICA	30. PROXIMIDADES DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	>= 500m < 500m	2 0		
	31. PROXIMIDADES DE CORPOS DE ÁGUA	>= 200m < 200m	2 0		
	32. VIDA ÚTIL DA ÁREA	<= 2 ANOS DE 2 A 5 ANOS > 5 ANOS		-	
	33. LICENÇA DE OPERAÇÃO	SIM NÃO/ENCERRADA		-	
	34. RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM NÃO		-	
	SUBTOTAL 3			4	

TOTAL MÁXIMO (100) TOTAL MÁXIMO 2.1 sem recebimento de resíduos industriais <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>	TOTAL MÁXIMO (110) TOTAL MÁXIMO 2.2 com recebimento de resíduos industriais <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>
IQR-SOMA DOS PONTOS/10 sem recebimento de resíduos industriais <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>	IQR-SOMA DOS PONTOS/11 com recebimento de resíduos industriais <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-top: 5px;"></div>

Cálculo do IQR

(sem recvb.resíduos industriais) IQR = (SUBTOTALS 1+2.1+3)/10 = 10,0

(com recvb.resíduos industriais) IQR = (SUBTOTALS 1+2.2+3)/11 = 10,0

IQR	AVALIAÇÃO
0,0 a 7,0	CONDIÇÕES INADEQUADAS
7,1 a 10,0	CONDIÇÕES ADEQUADAS

Anexo B - Formulário padronizado aplicado pela CETESB – IQR Nova Proposta
(continuação)

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR NOVA PROPOSTA	
MUNICÍPIO:	DATA:
LOCAL:	AGÊNCIA:
BACIA HIDROGRÁFICA:	UGRHI:
LICENÇA: L.I.: ☐ L.O.: ☐	TÉCNICO:

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Capacidade licenciada em ton/dia (Aterro Regional)

CAPACIDADE LICENCIADA EM TON/DIA:

Tratamento de Biogás

☐ SIM
 ☐ NÃO CABE
 ☐ NÃO

Coordenadas Geográficas (SAD 69)

UTM_N (m):

UTM_E (m):

FUSO ☐ 22 ☐ 23

Uso futuro da área

DESCREVER

Nº de Catadores

TOTAL
 < 14 ANOS

APÊNDICES

Apêndice A – Série histórica dos volumes dos lixiviados dos aterros sanitários enviados para tratamento na Sabesp (SAGRE)

Santo Amaro	Volumes dos lixiviados (Vazão m ³ / mês)											
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jan	5.105	7.000	4.768	7.128	9.968	4.418	2.945	11228	6482	9556	7172	6630
Fev	7.889	7.358	2.224	7.172	10.777	7.104	6.996	5228	8405	11695	9752	12900
Mar	8.310	9.304	8.888	6.992	6.654	6.281	6.153	9402	9302	7200	5160	8808
Abr	3.994	4.962	5.381	6.782	4.258	5.446	5.640	7515	9216	3780	4410	3784
Mai	4.037	2.996	1.665	3.288	2.439	2.849	3.117	5258	2940	2941	5402	3340
Jun	2.151	4.102	1.438	2.113	1.567	5.446	2.652	4840	1800	2640	3780	2500
Jul	2.180	2.525	1.334	1.788	1.765	1.230	1.464	2864	2580	4170	1800	7426
Ago	1.914	2.028	1.061	1.826	1.491	2.539	1.396	1980	1650	3228	2490	7062
Set	2.620	2.034	4.167	1.122	1.772	1.004	1.186	2730	2116	1506	1800	9480
Out	6.827	1.661	2.502	5.271	2.328	1.325	1.869	3240	2716	2220	2760	6330
Nov	3.811	1.287	3.616	2.336	6.816	1.518	2.170	4565	4200	4140	1860	9098
Dez	4.969	2.122	5.880	4.062	7.134	1.318	4.286	3540	9718	5582	2130	10492
Total	53.807	47.379	42.924	49.880	56.969	40.478	39.875	62390	61125	58658	48516	87850

Vila Albertina	Volume dos lixiviados (Vazão m³/ mês)															
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m³)
Jan	3.004	2.435	1.568	3.570	6.724	4.920	...	7412	4020	8412	7603	5280	10024	9625	6720	81.317
Fev	5.264	2.872	4.493	4.320	5.830	2.928	...	5725	4680	6180	6515	7950	6369	4252	4980	72.358
Mar	4.680	2.800	3.008	4.110	4.432	4.762	...	5490	10022	4235	6304	3720	5220	6882	3456	69.121
Abr	2.855	2.016	2.320	2.760	2.550	4.448	...	5630	3540	2340	4693	2280	5160	3330	2428	46.350
Mai	3.166	1.781	1.216	2.160	2.370	3.721	4230	3800	1680	1920	3377	1650	2250	2670	3990	39.981
Jun	2.103	1.552	880	930	1.110	2.733	5460	2245	1200	1860	2946	1650	1740	2280	6600	35.289
Jul	1.530	1.952	1.184	1.080	780	2.789	4800	1285	1410	3360	1950	3600	2910	1920	4372	34.922
Ago	1.525	1.136	1.056	930	1.110	5.030	4485	960	960	1667	1770	3480	1380	1470	1890	28.849
Set	1.871	1.600	1.840	1.020	1.050	2.215	3180	2385	1001	744	1376	4320	1620	1020	1140	26.382
Out	3.168	1.088	1.200	2.580	1.203	3.390	3585	4082	1404	1911	3240	4440	1290	1560	1170	35.311
Nov	1.933	1.792	1.666	1.950	1.830	4.144	3872	3630	2119	4652	2220	4020	1800	2190	1380	39.198
Dez	2.757	1.440	2.970	4.200	3.450	3.840	90	4560	6883	5937	2940	7830	5928	3360	6390	62.575
Total	33.856	22.464	23.401	29.610	32.439	44.920	29702	47.204	38.919	43.218	44.934	50220	45691	40559	44516	571.653

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

Bandeirantes	Volume dos lixiviados (Vazão m³/ mês)															
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m³)
Jan	36.229	35.164	49.781	52.109	72.550	62.583	...	101.271	61.772	72.110	44.855	23.936	53.772	79.412	23.626	769.170
Fev	50.191	31.535	47.491	56.660	57.789	60.337	...	47.268	58.832	55.236	84.341	30.736	36.685	23.230	24.678	665.009
Mar	43.196	35.450	48.905	37.856	66.793	53.181	...	63.261	57.975	47.731	51.495	23.040	36.005	37.020	15.072	616.980
Abr	29.973	20.179	35.567	37.151	47.073	38.901	...	46.446	53.267	35.532	40.714	15.782	26.490	16.512	13.666	457.253
Mai	26.787	20.856	28.998	35.486	42.900	38.896	...	51.302	36.545	36.877	30.917	10.020	13.860	12.072	17.996	403.512
Jun	20.061	22.991	26.300	29.825	34.852	33.263	46.918	51.458	34.440	28.449	22.434	9.930	9.810	11.668	29.038	411.437
Jul	20.385	25.165	26.353	35.606	35.699	40.195	45.680	41.250	36.902	31.116	16.325	16.590	12.180	9.120	24.670	417.236
Ago	24.799	23.965	22.281	34.656	27.533	69.441	53.578	39.604	33.997	32.346	18.060	16.080	4.620	7.804	14.718	423.482
Set	20.620	25.055	38.813	28.738	34.292	33.134	42.379	40.712	31.299	21.099	12.945	28.530	6.720	6.468	4.500	375.304
Out	32.919	26.040	30.482	41.167	37.594	42.372	49.427	46.840	32.144	21.183	21.330	50.090	11.340	9.926	9.750	462.604
Nov	20.065	25.070	31.590	37.118	43.562	40.464	29.998	44.650	36.264	33.989	17.491	19.380	8.160	9.142	9.096	406.039
Dez	39.292	26.321	49.198	55.013	53.648	37.782	16.204	43.834	56.113	34.692	13.328	33.420	13.218	14.562	13.398	500.023
Total	364.517	317.791	435.759	481.385	554.285	550.549	284.184	617.896	529.550	450.360	374.235	277.534	232.860	236.936	200.208	5.908.049

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

Sítio São João	Volume dos lixiviados (Vazão m ³ / mês)															
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m ³)
Jan	37660	16540	33053	40983	44477	61932	...	46657	62802	298579	43308	40748	53385	48116	25838	854078
Fev	29778	29275	47138	51187	42250	55474	...	46335	59295	78988	50412	43076	35044	60567	37688	666507
Mar	29598	36610	35187	43523	62050	55890	...	55453	59007	75072	49505	40594	33018	57731	19373	652611
Abr	29169	32559	33483	43022	53439	51244	...	56725	67409	81576	38519	34718	38316	50363	18263	628805
Mai	29091	26917	29081	42648	54672	57976	38472	55641	61742	68802	33833	28288	25442	36852	31192	620649
Jun	20523	27196	30542	39604	48096	49390	56332	50116	55004	71702	28296	26632	23150	33319	31556	591458
Jul	24541	20180	28731	37419	47570	52687	51733	46202	51566	83456	29218	29438	23888	32502	26707	585838
Ago	14240	21007	26608	41019	43961	50875	56371	50851	57396	74226	28458	29768	19492	20388	20978	555638
Set	17959	25234	32566	37746	40983	39841	53071	51471	63163	46099	27748	31358	18920	13822	15364	515345
Out	21331	23174	32015	40347	44698	41663	51443	58292	122193	46031	31824	36146	18834	12766	16669	597426
Nov	18839	22749	33135	31835	46128	36129	39619	65033	115087	148892	29172	27830	20656	19224	15734	670062
Dez	22269	27911	45898	39797	59007	35936	894	75254	158413	40629	34262	45608	40046	24208	26839	676971
Total	294998	309352	407437	489130	587331	589037	347935	658030	933077	1114052	424555	414204	350191	409858	286201	7615388

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

CDR Pedreira	Volume dos lixiviados (Vazão m ³ / mês)									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m ³)
Jan	...	5968	6144	8726	25783	31589	55059	84015	35740	253024
Fev	...	5088	5714	7361	22696	38650	59004	25871	43085	207469
Mar	...	8444	7626	6233	22892	39351	56848	34187	35141	210722
Abr	...	4625	6468	5059	25317	38806	45162	30730	30953	187120
Mai	...	4238	4480	5750	26291	35050	43941	21761	36842	178353
Jun	...	4289	4609	5538	24355	34440	36684	20028	53686	183629
Jul	...	3648	5538	5776	15505	40500	33525	19094	40094	163680
Ago	741	3000	4680	5290	15374	42990	30837	24507	30352	157771
Set	4840	3272	4350	4558	14191	45969	25978	12999	23001	139158
Out	6021	4209	5970	8567	17079	41160	26526	23174	24360	157066
Nov	6633	4226	5538	14858	20353	47355	25056	22702	21398	168119
Dez	7551	5918	7034	23207	22710	58003	38525	27033	32362	222343
Total	25786	56.925	68151	100923	252546	493863	477145	346101	407014	2228454

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

Aterro Guarulhos	Volume dos lixiviados (Vazão m ³ / mês)									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m ³)
Jan	...	2015	3371	4141	7440	6159	10503	13613	9897	57139
Fev	...	1323	3675	5212	7656	6521	8652	6768	10098	49905
Mar	...	4195	3213	5904	6480	6765	8774	9790	7663	52784
Abr	...	4446	3667	5151	6697	5206	7740	7869	7084	47860
Mai	...	3399	3688	5720	6879	4481	7699	5918	8316	46100
Jun	...	3319	3651	5929	4866	4581	7290	6179	13854	49669
Jul	...	3543	3965	6058	4501	5278	6656	5495	9736	45232
Ago	...	3364	4899	5809	4413	5493	4982	5461	7325	41746
Set	...	3066	4343	5549	3780	5700	4528	5220	6412	38598
Out	...	3452	4277	5400	4831	6003	4724	6832	7426	42945
Nov	1168	3244	3773	6060	5480	6294	4702	6875	7310	44906
Dez	1816	2895	3469	7912	5666	8973	8438	7446	10302	56917
Total	2984	38261	45991	68845	68689	71454	84688	87466	105423	573801

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

CTR Caieiras	Volume dos lixiviados (Vazão m ³ / mês)									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL (m ³)
Jan	...	5254	7625	8355	49407	28499	42402	57562	60840	259944
Fev	...	2937	6510	7560	25497	28206	39396	45579	49026	204711
Mar	...	3275	7880	6364	28854	24391	48987	54528	52049	226328
Abr	...	1668	6420	8378	24039	20587	42143	47593	46210	197038
Mai	...	2818	5820	11178	22257	19271	41657	49317	50277	202595
Jun	...	4606	4020	10676	17672	21183	40197	49464	59726	207544
Jul	...	2675	6090	12285	19262	21115	39530	51699	51689	204345
Ago	...	3523	5820	16286	19312	23138	31949	53153	49256	202437
Set	984	5092	5190	11583	18704	28962	36056	43314	48684	198569
Out	816	6824	5130	17308	25019	31257	42070	45411	51361	225196
Nov	1091	6941	8340	23025	21437	30210	43690	46358	50899	231991
Dez	2459	6382	8560	23551	25672	39085	51366	49140	57621	263836
Total	5350	51995	77405	156549	297132	315904	499443	593118	627638	2624534

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

CTL Floresta	Volume dos lixiviados (m ³ /mês)		
	2011	2012	TOTAL (m ³)
Jan	...	27732	27732
Fev	...	30532	30532
Mar	...	20269	20269
Abr	...	19489	19489
Mai	...	18624	18624
Jun	...	29807	29807
Jul	...	28822	28822
Ago	12887	20066	32953
Set	12449	15045	27494
Out	13973	17653	31626
Nov	17255	16315	33570
Dez	19414	30056	49470
Total	75978	274410	350388

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

Apêndice B – Série histórica da precipitação pluviométrica nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo

São Paulo	Precipitação (mm)														
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	203,3	315,1	328,6	143,2	284,8	317,1	294	...	365,7	201,8	311,4	397,6	463,4	461,8	305
Fev	390,7	368,9	246,7	285,3	160,7	96,4	333,1	94,2	149,3	230,7	236,3	188,7	296,5	336,5	224
Mar	251,8	187,3	97,4	111,6	329,6	118,1	130,7	278,2	563,2	186,7	184,8	125,5	183,6	159	154,3
Abr	92,8	34,8	6,3	33,9	53,5	25,5	127	118,1	50,7	121,1	96,6	61,9	124,5	122,6	155,9
Mai	129,3	33,2	9,3	86,9	93	33,1	62,1	199,2	9,9	59	78,6	54,6	66,4	47,4	83,3
Jun	16,1	80,3	12,2	24,4	1	4,7	66,7	30,7	13,8	30,2	78,1	40,9	15,1	62	231,9
Jul	9,5	22,2	64,7	41	22,9	19	97,3	12,6	65,6	148,2	0	212,6	93,5	4,5	55,7
Ago	91,4	1,4	84,6	30,8	41,7	53,8	2,7	9,5	5,6	0	79	114	0,4	50,8	0,3
Set	91,2	58,8	126,6	87,5	54,7	54,5	9,3	136,1	77,7	2,8	25,7	187,7	85	7,4	19,2
Out	195,1	59,6	59	262,8	119,5	133,3	97,4	163,1	129,2	94	141,4	154,5	80,6	106,8	104,4
Nov	38,6	108,3	186	185,2	221	123	182,7	105,6	230,7	192,9	108,6	172	89,2	96,3	92,6
Dez	241,2	73,3	249,7	219,2	235,3	169,1	312	189,1	304,5	230,8	221,9	363,7	311,7	135,1	393,4
Total	1751	1343	1471	1512	1618	1148	1715	1336	1966	1498	1562	2074	1810	1590	1820

(...) Dado desconhecido e desconsiderado para realização dos gráficos

Fonte: CIIAGRO Online 2013.

Município de Guarulhos - 2004 a 2012

Guarulhos	Precipitação (mm)								
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Jan	222,3		222,80	162,4	280,9	352,4	404	461,4	257,8
Fev	222,1	104,1	186,20	123,9	272,1	182	202	290,8	215,3
Mar	130,9	170,5	469,60	111,3	215,9	101,9	150,8	219,9	168,3
Abr	113,6	98,9	93,50	194,9	122,5	48,7	128,9	142,3	119,9
Mai	68,3	158,6	14,50	57,6	72	59,4	43,3	21,3	48,4
Jun	56,9	29,6	18,70	21,6	68,5	32	8,3	51,8	206,6
Jul	71,9	14,3	84,60	140,1	0	158,6	107,8	5,3	31
Ago	1,6	6,3	3,50	0	81,3	82,2	0	39,7	0
Set	29,7	104,5	80,30	6	37,8	214	68,3	7,6	21,9
Out	129,5	201,2	63,00	106,2	101,7	205,2	47,5	151,8	89
Nov	199,3	89,9	153,40	152,7	67,8	222,3	129,2	105,8	72,3
Dez	226,2	208,2	301,40	206,9	131,2	329,1	369,1	153,5	406,4
Total	1472	1186	1692	1284	1452	1988	1659	1651	1637

Fonte: CIIAGRO Online 2013.

CURRÍCULO LATTES

Autora: Sulamita de Souza Silva Cavalcante

Possui graduação em Gestão Ambiental pela Escola de Artes Ciências e Humanidades - EACH da Universidade de São Paulo (2011). Atualmente é aluna de mestrado na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - FSP/USP, na Área de Concentração em Saúde Ambiental. Tem experiência na de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Pesquisa a geração de lixiviado em aterros sanitários e suas consequências à saúde e ao meio ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1978), mestrado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (1997), doutorado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2001) e livre-docência em saneamento básico e ambiental pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2006). Atualmente é professor associado da Universidade de São Paulo e Superintendente de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Tratamento de Esgotos, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de esgotos para pequenas comunidades, disposição de esgotos no solo, saneamento básico, tecnologias de baixo custo, tratamento de águas e gestão ambiental.